



UNIVERSIDAD NACIONAL
“PEDRO RUIZ GALLO”



FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

TESIS

“Estudio de viabilidad técnica y económica de un sistema de bombeo con energía solar fotovoltaica para riego de arroz en el Predio Los Rojas, ubicado en el distrito de Yuracyacu, provincia de Rioja, departamento de San Martín”

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

Presentado por:

Bach. Calderón Buelot, Jhon Darwin

Asesor:

Ing. Puyen Mateo, Nestor Daniel

Lambayeque - Perú
2019



UNIVERSIDAD NACIONAL
“PEDRO RUIZ GALLO”



FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

TESIS

“Estudio de viabilidad técnica y económica de un sistema de bombeo con energía solar fotovoltaica para riego de arroz en el Predio Los Rojas, ubicado en el distrito de Yuracyacu, provincia de Rioja, departamento de San Martín”

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

Presentado por:

Bach. Calderón Buelot, Jhon Darwin

Jurado calificador:

PRESIDENTE : Dr. Salazar Mendoza, Aníbal Jesús

SECRETARIO : Ing. Méndez Cruz, Oscar

MIEMBRO : Ing. Tapia Asenjo, Robinson

ASESOR : Ing. Puyen Mateo, Nestor Daniel

Lambayeque - Perú

2019



UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO”



FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

TESIS

“Estudio de viabilidad técnica y económica de un sistema de bombeo con energía solar fotovoltaica para riego de arroz en el Predio Los Rojas, ubicado en el distrito de Yuracyacu, provincia de Rioja, departamento de San Martín”

CONTENIDOS:

CAPÍTULO I	: Problema de la Investigación
CAPÍTULO II	: Marco Teórico
CAPÍTULO III	: Marco Metodológico
CAPÍTULO VI	: Propuesta de Investigación
CAPÍTULO V	: Análisis e Interpretación de los Resultados
CAPÍTULO VI	: Conclusiones y Recomendaciones
CAPÍTULO VII	: Referencias Bibliográficas
CAPÍTULO VIII	: Anexos

Autor:

Bach. Calderón Buelot, Jhon Darwin

Aprobado por el Jurado calificador:

PRESIDENTE

SECRETARIO

MIEMBRO

ASESOR

***Lambayeque – Perú
2019***

DEDICATORIA

Mi presente trabajo de investigación lo dedico principalmente a Dios por ser guía de mi camino y darme fuerza para cumplir mis metas y sueños más deseados.

A mis padres por su amor y apoyo incondicional que me brindaron día a día, que gracias a ustedes pude lograr mis metas y convertirme en lo que soy, me siento orgulloso de ustedes queridos padres.

A mis hermanos que son mi motor y motivo para seguir adelante como profesional y como ejemplo para sus vidas y por su apoyo moral e incondicional que me brindaron gracias hermanos.

AGRADECIMIENTO

Agradecer a dios por todo sobre las cosas, darnos la vida y ser guía a lo largo de nuestra existencia.

Agradecer a mis padres: Amancio Calderón Naval y Carmen Buelot Villanueva por ser los protagonistas de mis sueños, por creer y confiar en mi persona, por lo buenos consejos, valores y principios que me han enseñado.

Agradecer a toda la plana docente de nuestra prestigiosa casa de estudios Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo por haber inculcado sus enseñanzas a lo largo de nuestra carrera profesional.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se fundamenta en la aplicación de un sistema fotovoltaico para accionar un sistema de bombeo, a fin de atender las necesidades de suministro de agua en todas las etapas del cultivo de arroz que lo requieran.

Esta investigación se está realizando en el predio rural “Los Rojas”, ubicado en el distrito de Yuracyacu, provincia de Rioja, departamento de San Martín; dicho predio se ubica próximo al río Mayo y tiene una extensión aproximada de terreno de 03 hectáreas. Para el desarrollo de esta investigación se realiza la verificación de información de datos climáticos y meteorológicos mediante portales web de entidades nacionales e internacionales de reconocido prestigio; asimismo, se realizó visita In Situ al predio a fin de evaluar las características del entorno del predio, las características propias del predio y realizar encuestas a los propietarios cercanos al predio en estudio. Con la información procesada, se logrará determinar si el predio “Los Rojas” contara con el suministro de agua del río Mayo para poder emplear eficientemente el sistema de bombeo propuesto, también, se realizará el dimensionamiento del sistema fotovoltaico y la selección adecuada de la electrobomba solar a emplearse; de ser necesario, se sugerirá el empleo de obras civiles que sean necesarias. Resultado de la viabilidad de este trabajo de investigación, se obtendría una solución al empleo de sistema alternativo de bombeo de agua, con características técnicas, económicas y ecológicas, favorables para agricultores con extensiones de terreno menores o iguales a 3 hectáreas.

El Capítulo uno contiene el plan de investigación del proyecto en donde se detalla la problemática, hipótesis, objetivos y cuán importante es desarrollar la presente investigación.

En la sección dos se describen los elementos utilizados para el funcionamiento de los sistemas solares fotovoltaicos.

En la sección tres se describe el dimensionamiento del sistema fotovoltaico autónomo teniendo como base la irradiación Solar de la zona de estudio, las horas solar pico y los días de autonomía en el mes con peores condiciones del año, también se describe el lugar del proyecto, en donde se enfatiza la ubicación, condiciones climatológicas, topografía y la demanda de energía eléctrica del predio.

Se muestra el contenido central de esta tesis, se basó en la metodología de cálculo del capítulo, se realizó el cálculo de ingeniería para el diseño de sistemas solares fotovoltaicos para vivienda. También se realizó el plan de mantenimiento preventivo y el plan de mantenimiento correctivo.

Se desarrolla la evaluación económica del proyecto teniendo en cuenta los indicadores de rentabilidad VAN, TIR, relación B/C para determinar si el proyecto es viable.

En las secciones cuatro y cinco se presenta la discusión y resultados del presente proyecto, en donde se enfoca a la parte de diseño y la viabilidad económica.

En la sección seis se muestra las conclusiones resultantes del presente proyecto, dan una solución a la mejora de los indicadores de rentabilidad, considerando que este proyecto es dedicado a la aplicación de bombeo solar en un cultivo de arroz exclusivamente.

Palabras clave: Bombeo fotovoltaico autónomo.

ABSTRACT

This research work is based on the application of a photovoltaic system to drive a pumping system, in order to meet the needs of water supply at all stages of rice cultivation that require it.

This investigation is being carried out in the rural property “Los Rojas”, located in the district of Yuracyacu, province of Rioja, department of San Martin; This property is located next to the Mayo River and has an approximate area of land of 03 hectares. For the development of this research, the verification of climate and meteorological data information is carried out through web portals of national and international entities of recognized prestige; Likewise, an In Situ visit to the property was carried out in order to evaluate the characteristics of the environment of the property, the characteristics of the property and conduct surveys of the owners close to the property under study. With the processed information, it will be possible to determine if the “Los Rojas” property will have the water supply of the Mayo River to be able to efficiently use the proposed pumping system, also, the sizing of the photovoltaic system and the appropriate selection of the electric pump will be carried out solar to be used; if necessary, the use of civil works that are necessary will be suggested. As a result of the feasibility of this research work, a solution would be obtained to the use of an alternative water pumping system, with technical, economic and ecological characteristics, favorable for farmers with land extensions less than or equal to 3 hectares.

Chapter one contains the project research plan that details the problem, hypothesis, objectives and how important it is to develop this research.

Section two describes the elements used for the operation of photovoltaic solar systems.

Section three describes the sizing of the autonomous photovoltaic system based on the Solar irradiation of the study area, the peak solar hours and the days of autonomy in the month with the worst conditions of the year, the location of the project is also described, where the location, weather conditions, topography and the demand of electrical energy of the property are emphasized.

The central content of this thesis is shown, it was based on the methodology for calculating the chapter, the engineering calculation was carried out for the design of photovoltaic solar systems for housing. The preventive maintenance plan and the corrective maintenance plan were also carried out.

The economic evaluation of the project is developed taking into account the profitability indicators VAN, TIR, B / C ratio to determine if the project is viable.

In sections four and five, the discussion and results of this project are presented, where it focuses on the design and economic viability.

Section six shows the conclusions resulting from the present project, giving a solution to the improvement of profitability indicators, considering that this project is dedicated to the application of solar pumping in a rice crop exclusively.

Keywords: Autonomous photovoltaic pumping.

ÍNDICE

DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTO	V
RESUMEN	VI
ABSTRACT	VIII
ÍNDICE	X
ÍNDICE DE TABLAS	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS	XIV
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	3
1.1. Realidad Problemática	3
1.1.1. Realidad problemática a nivel internacional	3
1.1.2. Realidad problemática a nivel nacional	5
1.1.3. Realidad problemática local	6
1.2. Formulación del Problema	7
1.3. Delimitación de la Investigación	7
1.3.1. Delimitación espacial	7
1.3.2. Delimitación temporal	8
1.4. Justificación e Importancia de la TESIS	8
1.5. Limitaciones de la TESIS	9
1.6. Objetivos de la TESIS	9
1.6.1. Objetivo General	9
1.6.2. Objetivo Específicos	10
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	11
2.1. Antecedentes de Estudios	11
2.2. Desarrollo de la temática correspondiente al tema desarrollado	15
2.2.1. Energía solar	15
2.2.2. Sistemas solares fotovoltaicos	16
2.2.3. Elementos de un sistema fotovoltaico	19
2.2.4. Célula Solar Fotovoltaica	19
2.2.4.1 Clasificación de célula solar Fotovoltaica	23

2.2.4.2 Diferencia entre los paneles policristalinos y los monocristalinos.....	24
2.2.5. Panel Fotovoltaico	25
2.2.6. Clasificación de Instalaciones solares fotovoltaicas	31
2.2.7. Regulador de carga	34
2.2.7.1 Tensión de Regulación	35
2.2.7.2 Compensación de la Temperatura	37
2.2.7.3 Tipos de Reguladores	38
2.2.8. Inversores	42
2.2.8.1 Oscilador.....	43
2.2.8.2 Convertidor DC/AC	44
2.2.8.3 Protección	44
2.2.8.4 Tipos de Inversores	44
2.2.8.5 Especificaciones Técnicas	44
2.2.8.6 Características	45
2.2.9. Variador de frecuencia para bombeo solar para riego agrícola	47
2.2.10. Desarrollo del Cultivo de arroz	49
2.2.10.1 Diseño y Planificación del Terreno	49
2.2.10.2 Importancia del Agua para la producción de Arroz	54
2.2.10.3 Sistema de Conducción y distribución de Agua en la arrocera.....	57
2.2.10.4 Necesidades de riego.	59
2.2.10.5 Evapotranspiración.....	59
2.2.11. Bombeo de Agua	60
2.2.11.1 Descripción y conexión de los elementos que forman el sistema de bombeo .	62
2.2.11.2 Generador fotovoltaico Descripción	63
2.2.11.3 Grupo motor-bomba.....	63
2.2.11.4 Convertidor de acoplamiento entre el generador fotovoltaico y el motor-bomba	67
2.2.11.5 Cálculos previos para la elección de un sistema de bombeo fotovoltaico	69
2.2.11.6 Cálculo de la altura total de bombeo	70
2.2.11.7 Cálculo del generador fotovoltaico	71
2.2.11.8 Cálculo del motor-bomba	72
2.3. Definición conceptual de la terminología empleada.	73
CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO.....	77
3.1. Tipo y diseño de investigación.....	77

3.2. Hipótesis	77
3.3. Población y muestra	77
3.4. Variables	77
3.4.1 Variable Independiente	77
3.4.2 Variable Dependiente	78
3.4.3 Operacionalización de Variables	78
3.5. Análisis Estadístico e interpretación de los datos	80
CAPITULO IV: PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN.....	81
4.1. Descripción del sistema propuesto	81
CAPITULO V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS	82
5.1. Evaluación del aporte solar.	82
5.2. Estimación de la necesidad de riego	91
5.3. Estimación de la Altura de bombeo	92
5.4. Selección de componentes del sistema de bombeo de agua accionado con energía solar 93	
5.5. Estimación de la demanda energética solar.	99
5.6. Análisis de rentabilidad del proyecto	103
5.6.1 Evaluación Económica	103
CONCLUSIONES	114
5.7. Conclusiones	114
BIBLIOGRAFÍA	115
ANEXOS.....	116

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Necesidades de agua de riego de arroz	5
Tabla 2 Oferta hídrica para cultivo de arroz 1989 - 2007	6
Tabla 3 Irradiación solar	86
Tabla 4 ventajas y desventajas entre electrobombas fotovoltaicas	93
Tabla 5 Modelo de electrobomba	95
Tabla 6 Presupuesto del proyecto	104
Tabla 7 Gastos de bombeo con sistema convencional y ganancia por campaña de arroz.....	105
Tabla 8 Gastos con sistema de bombeo con energía solar y ganancia por campaña de arroz ...	106
Tabla 9 Gastos ahorrados con sistema de bombeo con energía solar	106
Tabla 10 Valor residual y Depreciación - Alternativa 01 (Predio de tres hectáreas)	106
Tabla 11 Valor residual y Depreciación - Alternativa 02 (Predio de siete hectáreas)	107
Tabla 12 Valor residual y Depreciación - Alternativa 03 (Predio de diez hectáreas)	107
Tabla 13 Análisis de rentabilidad - Alternativa 01 (Predio de tres hectáreas).....	110
Tabla 14 Análisis de rentabilidad - Alternativa 02 (Predio de siete hectáreas)	110
Tabla 15 Análisis de rentabilidad - Alternativa 03 (Predio de diez hectáreas).....	111
Tabla 16 Sensibilidad del Proyecto - Alternativa 01 (Predio de tres hectáreas).....	112
Tabla 17 Sensibilidad del Proyecto - Alternativa 02 (Predio de siete hectáreas)	112
Tabla 18 Sensibilidad del Proyecto - Alternativa 03 (Predio de diez hectáreas)	113

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Estructura de un sistema fotovoltaico	16
Figura 2 Estructura de la célula solar.....	18
Figura 3 Componentes operativas de un sistema fotovoltaico	19
Figura 4 Célula solar fotovoltaica.....	20
Figura 5 Funcionamiento de célula fotovoltaica.....	21
Figura 6 Corte transversal de un panel fotovoltaico	25
Figura 7 Conexión en serie.....	27
Figura 8 Conexión en paralelo.....	27
Figura 9 Diodo de paso	28
Figura 10 Voltaje vs Corriente con variable temperatura	29
Figura 11 Voltaje vs Corriente considerando la conexión de los paneles	30
Figura 12 Diagrama de Sistema fotovoltaico sin conexión a red.	32
Figura 13 Sistema fotovoltaico conectado a red	33
Figura 14 Diagrama de bloques de una instalación aislada híbrida	34
Figura 15 Conexión del controlador entre el panel y la carga	41
Figura 16 Diagrama de bloques del inversor DC/AC	43
Figura 17 Variador de frecuencia	47
Figura 18 Fases de desarrollo del arroz y momento Ricecheck.....	49
Figura 19 Esquema de conducción de agua en el terreno.....	52
Figura 20 Cajas de control de lámina de agua en la poza	52
Figura 21 Evapotranspiración.....	60
Figura 22 Principales componentes de un sistema de bombeo de agua fotovoltaico.....	62
Figura 23 Bomba solar de tornillo de desplazamiento positivo para agua.	65
Figura 24 Bombas dinámicas o de intercambio de cantidad de movimiento	65
Figura 25 Configuración con bomba centrífuga multi-fase sumergible.....	66
Figura 26 Bomba sumergible con motor montado en la superficie.	66
Figura 27 Puntos de funcionamiento con convertidor de acoplamiento (B) y sin éste (A).	67
Figura 28 Trayectoria solar durante el día.....	84
Figura 29 Ret Screen Plus (utiliza información obtenida y procesada por la NASA)	85
Figura 30 Angulo de inclinación de un panel solar	89
Figura 31 Distancia mínima entre filas de paneles	90
Figura 32 Vista de ubicación del predio Los Rojas. (Google Earth Pro)	92
Figura 33 Esquema de operación de la bomba	94

INTRODUCCIÓN

En la actualidad es evidente el incremento del interés de la población sobre temas de ahorro de energía y el impacto ambiental que genera el uso de equipos o maquinarias convencionales, que emplean combustibles fósiles y aditivos no degradables para su funcionamiento.

El bombeo de agua con energía eléctrica proveniente de un sistema fotovoltaico autónomo (SFVA), es una aplicación de especial interés para pobladores asentados en zonas rurales, que buscan otras fuentes de energía económica e inocua para el medio ambiente, con el fin de incrementar la productividad agrícola y mejorar su calidad de vida.

La elección de implementar un sistema de bombeo de agua con energía eléctrica proveniente de un SFVA, frente a la alternativa de otra fuente energética convencional, depende principalmente de factores geográficos (La ubicación y dispersión de sus predios, no favorecen a la decisión de la concesionaria de distribución eléctrica de la zona, en invertir en un proyecto de electrificación rural) y factores económicos (Los predios rurales retirados o en condición de aislados, generan el pago de sobre costos al combustible y aditivos empleados en motobombas con sistema de combustión).

Para esta investigación, se propone el diseño de un sistema de bombeo de agua accionado con energía eléctrica producida por un SFVA y sin soporte de baterías solares, que luego se evaluara su viabilidad económica para ser implementado en el predio agrícola “Los Rojas”, cuya ubicación próxima al río Mayo, garantiza la disponibilidad del recurso hídrico. Se realizaron trabajos de campo necesarios, donde se verificaron algunas características del predio agrícola (La nivelación de la superficie del

terreno, la altura entre la superficie del río y la superficie del predio); asimismo, se encuestaron al propietario de este predio y a los propietarios de predios circundantes, para obtener información de primera fuente con respecto a las labores culturales del cultivo de arroz y determinar la etapa del cultivo de arroz que requiere mayor demanda de agua.

Determinada la etapa del cultivo de arroz, se promedió el nivel de agua que debe tener cada poza para atender la mayor demanda de agua; asimismo, se cuantificó el recorrido y el desnivel que tendría que realizar el sistema de bombeo; con estos datos procesados, se procedió a la selección de una electrobomba de tipo sumergible.

De la consulta a los catálogos de fabricantes de electrobombas sumergibles y sistemas de control de bombeo; se revisaron las características de entrega de agua (Caudal y altura de carga), potencias eléctricas que soportarían, los niveles de tensión, tipo de tensión (Alterna o continua) y sistema eléctrico (Monofásico o trifásico) de los equipos de bombeo; de igual manera, se verificó la compatibilidad y funcionalidad del sistema de control de bombeo con la electrobomba seleccionada.

Cabe mencionar que para nuestro estudio se utilizó el programa RET SCREEN Expert, que vincula datos meteorológicos de la NASA, que permitió el procesamiento de datos sobre la radiación solar en la zona del proyecto; que, junto con datos técnicos de la electrobomba seleccionada, se calculó el número de horas de mayor intensidad y aprovechamiento del sol, la cantidad de paneles fotovoltaicos a emplearse y su inclinación.

CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Realidad Problemática

1.1.1. Realidad problemática a nivel internacional

El cultivo de arroz, es casi tan antiguo como el hombre, algunos dicen que el arroz se cultiva desde hace más de 7 000 años. Hay pruebas de que se siembra desde 5000 años antes de Cristo en China, y antes del año 6000 antes Cristo en una caverna al norte de Tailandia.

La nacionalidad del arroz es tan discutida como su historia. Algunos estudiosos del tema, consideran que el arroz es oriundo de Asia, pero otros aseguran que el cereal se originó en África y luego lo llevaron al Asia.

Actualmente el Arroz es uno de los cereales que más se producen el mundo (más de 650 millones de toneladas de arroz cáscara por año), y es considerado el alimento base para la mitad de la población mundial, hay lugares en los que se consumen más de 200 kilogramos de arroz por persona y por año. (China 91kg/hab/año, Brasil 35kg/hab/año y Argentina 6 kg/hab/ año).

En el mundo el Arroz se cultiva principalmente de dos formas:

1. Arroz de “Secano”: se lo trabaja como si fuera un cultivo común (maíz o sorgo).

Esta forma de producir arroz, generalmente se realiza en aquellas regiones en las que llueve mucho (1800 a 2500 milímetros anuales), y se aprovechan esas grandes cantidades de agua que caen para lograr la producción. Los rendimientos con esta forma de cultivo, rara vez superan los 4000 kg/ha.

2. Arroz de “Riego”: es la forma más común y eficiente de cultivar arroz, y a pesar de que existen algunas diferencias entre las distintas regiones, se inundan las

chacras al menos por 90 días durante el ciclo. Los rendimientos que se logran con arroz de riego pueden superar los 10.000 kilogramos por hectárea. Toda la producción de arroz que se realiza en Argentina, se hace bajo riego por inundación.¹

El agua desempeña un papel prominente en la producción de arroz, mientras otros sistemas de cultivo utilizan el agua principalmente con fines productivos (transpiración), los sistemas de cultivo con base en arroz utilizan el agua en una amplia gama de maneras, algunas benéficas y otras no tanto. Los sistemas con base en arroz necesitan agua para tres propósitos principales: i) evapotranspiración; ii) infiltración y percolación; y iii) prácticas específicas de manejo de agua, como la preparación y el drenaje del terreno antes del macollamiento.

La Tabla 01 muestra el requerimiento total de agua para el arroz de riego, pero la demanda real de agua de los agricultores es, casi siempre, mucho mayor porque las técnicas convencionales de aplicación tienen una eficiencia de menos del 50 por ciento. En muchos sistemas con base en arroz, una gran proporción de agua entra al campo en forma de precipitación, riego superficial o esorrentía/percolación de los campos adyacentes. En consecuencia, resulta decisivo que se hagan los balances hídricos a una escala apropiada y que no se limiten al nivel de campo. A nivel de sistema, el agua utilizada en la evapotranspiración del arroz puede ser solo el 25% del total y el resto es utilizado por los árboles, los cultivos caseros, las piscinas, el drenaje, etc.

1 "MANUAL DEL AGUADOR ARROCERO. PRINCIPIOS BÁSICOS PARA EL MANEJO DEL RIEGO EN EL CULTIVO DE ARROZ" - Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria

Propósito del uso del agua	Uso consuntivo* (mm/día)		Comentarios
	Bajo	Alto	
Preparación del terreno	150	250	Renovación de la humedad del suelo, arado y fangueo
Evapotranspiración	500	1 200	
Infiltración y percolación	200	700	Mantenimiento de la lámina de inundación
Drenaje de mediados de estación	50	100	Recambio de la cuenca hídrica después del drenaje
Total	900	2 250	

Tabla 1 Necesidades de agua de riego de arroz

En todo el mundo, se está experimentando con nuevas prácticas de cultivo de arroz en el campo. Muchas de éstas son motivadas por la necesidad de ahorrar agua ante una creciente escasez de este líquido. El arroz paddy consume mucha más agua que cualquier otro cereal, aunque gran parte de esta agua es reciclada. Durante las últimas décadas, los institutos internacionales y nacionales de investigación en arroz han probado diversas técnicas novedosas para el cultivo del arroz – aeróbica, alternando condiciones húmedas y secas, intensificación del sistema con base en arroz – que suprimen parcial o totalmente la necesidad de inundar en el campo.²

1.1.2. Realidad problemática a nivel nacional

En la tabla 01, los valores de la oferta hídrica anual para el cultivo de arroz, calculados teniendo en consideración que el uso consuntivo del agua para fines agrícolas en una cuenca corresponde al 80%, según reportes de la Autoridad Nacional de Agua (ANA); y además estableciendo una proporción en función de la superficie destinada a usos agrícolas y pastoreo respecto de la superficie de cultivos de arroz. La oferta hídrica total anual registra una disminución de 6.99 MMC, pasando de 442.83 MMC a 435.80 MMC entre 1989 y 2007. Se entiende por demanda, la cantidad de agua requerida para el desarrollo de la actividad arrocería,

² EL ARROZ Y EL AGUA: UNA LARGA HISTORIA MATIZADA – FAO.

expresada en unidades de volumen por hectárea de arroz. Para calcular la demanda de agua para el cultivo de arroz, se ha considerado la superficie total de cultivos de arroz y, como dato de referencia, el consumo bajo condiciones de riego por inundación, que es entre 15 000 y 18 000 m³ de agua por hectárea, información obtenida del documento denominado “El arroz: Principales aspectos de la cadena productiva”, publicado por el Ministerio de Agricultura y Riego en el año 2012”.

Nombre	Oferta hídrica anual para cultivo de arroz (MMC)		
	1989	2000	2007
Intercuenca Agua Turbia	29.71	29.16	29.60
Intercuenca Chirimoyo	3.11	3.11	3.11
Intercuenca Tesoro	11.39	11.29	11.35
Intercuenca Tomaque	18.12	18.12	18.12
Intercuenca Vigilancia	22.68	22.68	22.68
Microcuenca Copallin	51.86	51.73	51.73
Microcuenca El Ron	109.08	104.95	106.60
Microcuenca Naranjitos	50.22	46.85	47.48
Microcuenca Naranjos	113.31	110.92	111.98
Microcuenca San Juan	33.34	33.33	33.26
TOTAL	442.83	432.13	435.80

Tabla 2 Oferta hídrica para cultivo de arroz 1989 - 2007

1.1.3. Realidad problemática local

El predio “Los Rojas” se ubica próximo a uno de los márgenes del río Mayo, distrito de Yuracyacu, provincia de Rioja, departamento de San Martín; para llegar a este predio de manera rápida, se puede emplear un medio de transporte fluvial. La distancia de viaje, desde el puerto del distrito de Yuracyacu, hasta las orillas del predio “los Rojas” es de aproximadamente de 14.5 kilómetros.

Actualmente el propietario de este predio emplea un sistema que bombea agua desde el río Mayo hasta su predio, compuesto por una motobomba accionada por combustible fósil y aditivos lubricantes no biodegradables, los cuales presentan un sobre costo para debido a su transporte y a la especulación de los vendedores de la

capital de distrito de Yuracyacu, pese a que los comerciantes formales cuentan con beneficios tributarios por parte del estado; a todo esto se debe agregar, los costos de mantenimiento que pudiera necesitar la motobomba.

Asimismo, debido a la ubicación y dispersión de predios los rurales del distrito de Yuracyacu, la concesionaria de distribución eléctrica de la zona, no tiene programado invertir en un proyecto de electrificación rural. De la visita a campo, se verifico que el predio “Los Rojas” no cuenta con suministro eléctrico convencional, esto origina, que su propietario emplee más recursos económicos para mejorar la calidad de vida de las personas que viven de forma temporal la vivienda dentro del predio y le imposibilite en mejorar la eficiencia de sus labores culturales del cultivo de arroz.

1.2. Formulación del Problema

¿Sera viable técnica y económicamente la implementación de un sistema de bombeo fotovoltaico para riego agrícola, en los cultivos del predio Los Rojas, ubicado en el distrito de Yuracyacu, provincia de Rioja, departamento de San Martín?

1.3. Delimitación de la Investigación

1.3.1. Delimitación espacial

El predio “Los Rojas” se ubica próximo a uno de los márgenes del rio Mayo, Distrito de Yuracyacu, Provincia de Rioja, Departamento de San Martín.

Se han registrado los siguientes datos climatológicos relacionados en la zona del proyecto:

Temperatura máxima	:	32 °C
Temperatura mínima	:	16 °C
Temperatura promedio	:	22 °C

Humedad relativa promedio	:	76 – 88 %
Altitud	:	824 msnm
Clima	:	Monzon (Clasificación climática de Köppen: Am)

Para llegar a este predio se puede realizar por vía terrestre, desde el distrito de Yuracyacu mediante trocha carrozable y por medio de transporte fluvial. La distancia de viaje, desde el puerto del distrito de Yuracyacu, hasta las orillas del predio “los Rojas” es de aproximadamente de 14.5 kilómetros.

1.3.2. Delimitación temporal

Este trabajo de tesis tuvo una duración de 06 meses.

1.4. Justificación e Importancia de la TESIS

Justificación social

El empleo de un sistema de bombeo de agua accionado con energía eléctrica producida por un SFVA, eliminaría el impacto ambiental negativo que se genera al emplear un sistema de bombeo de agua con motobomba accionada por combustibles fósiles y aditivos lubricantes no biodegradables.

Justificación económica

De las encuestas realizadas al propietario del predio “Los Rojas” y a los propietarios de predios circundantes, se determinará la etapa del cultivo de arroz que requiere mayor demanda de agua y se verificará el costo que genera bombear agua con motobomba a sus predios desde el río Mayo.

Luego se procederá a realizar la evaluación económica, considerando el presupuesto referencial para implementar un sistema de bombeo de agua accionado con energía

eléctrica producida por un SFVA según diseño propuesto, finalmente se determinará su viabilidad económica luego de comparar los costos por emplear motobomba.

Justificación técnica

La alternativa propuesta, hace uso de energía renovable y puede ser empleada todos los días, siempre y cuando se presente niveles de radiación solar y condiciones climatológicas favorables.

1.5. Limitaciones de la TESIS

Durante el desarrollo de las encuestas de campo, los propietarios de los predios adjuntos, inicialmente se mostraron reservados en responder el cuestionario. Solo se cuenta con información sobre irradiación solar en el atlas solar del Perú y de la página web de la NASA.

1.6. Objetivos de la TESIS

1.6.1. Objetivo General

Evaluar la viabilidad técnica y económica de un sistema de bombeo con energía solar fotovoltaica, para riego de cultivo de arroz en el predio Los Rojas, ubicado en Yuracyacu, provincia Rioja departamento San Martín.

1.6.2. Objetivo Específicos

- a) Evaluar las condiciones geográficas y meteorológicas del predio Los Rojas, que permitan definir lo siguiente:
 - La ubicación georreferenciada del predio Los Rojas, para evaluar el recurso solar que permitirá el aprovechamiento en la producción de energía eléctrica que será suministrada por el generador fotovoltaico a lo largo del día de uso, determinada por la radiación solar y las condiciones meteorológicas.
 - Identificar las condiciones geográficas del predio a beneficiar, a fin de determinar la altura total de bombeo, la misma que permitirá definir las especificaciones técnicas de la electrobomba más idónea para nuestro proyecto.
- b) Calcular la demanda de agua, que se requiere en la etapa de cultivo de arroz donde se presenta el mayor abastecimiento de agua.
- c) Seleccionar los equipos y materiales necesarios para la implementación de un sistema de bombeo de agua accionado con energía eléctrica proveniente de un SFVA, considerando la tecnología actual y los costos de inversión.
- d) Evaluar la viabilidad económica resultante la implementación de este tipo de sistema de bombeo propuesto, para riego de cultivo de arroz, en el distrito de Yuracyacu, provincia de Rioja, departamento de San Martín.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de Estudios

Contexto Internacional

Nicaragua

Según Alvares y Suazo (2017) en la tesis titulado “Diseño de un sistema de riego por goteo automatizado, alimentado con energía fotovoltaica para la finca San Antonio ubicada en la Isla de Ometepe del departamento de Rivas” El autor en el resumen indica lo siguiente: el estudio está dirigido al diseño de un sistema de riego automatizado, alimentado con energía fotovoltaica, para una finca de 15 manzanas localizada en el departamento de Rivas en la Isla de Ometepe, como una solución a la problemática presente en esa zona la cual no cuenta con la energía eléctrica comercial en diferentes comunidades y que es necesaria para atender el riego de los cultivos. La realización del estudio examina la descripción de la fuente de agua (el lago) disponible en la parte norte de la finca, y a partir de la recopilación de los datos mencionados se elaboró el diseño del sistema de riego automatizado, alimentado con energía fotovoltaica. Las descripciones del sistema que se determinaron fueron; el procedimiento de riego, el sistema de control automático y el sistema de alimentación fotovoltaica. Se planteó el sistema de riego automatizado, alimentado con energía fotovoltaica, utilizando tres diferentes tecnologías: tecnología de sistemas de riego, tecnología de sistemas de automatización y tecnología de alimentación fotovoltaica. (Alvarez Alvarez & Suazo Gonzales, 2019).

España

Según Vargas (2018) en la tesis titulado: “DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA SUBTERRÁNEA CON ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA RIEGO EN LA COMUNIDAD DE VALENCIA”. El objetivo fue de diseñar un sistema fotovoltaico adecuado para riego, para una extensión de 10 000 m², beneficiando a 10 familias que se dedican al cultivo de diferentes plantas productivas, ya sean hortalizas y legumbres, además constituye fuente de ingreso económico. Cuyo precio de los productos son rentables, y ser acreedores de préstamos de entidades de interés social. Se pensó que la concretización de este proyecto en dicho emplazamiento es idónea, porque actualmente el agricultor se abastece de un riego por gravedad, a través de canales rústicas. Otro de los problemas del agricultor es el uso de la energía convencional que es de alto costo, además están prohibidos por la empresa proveedora. Por lo tanto, el proyecto proveerá agua para el riego menos contaminada. La necesidad de agua se caracteriza por la variación estacional, ya hubo sequía en el pasado. Según estudios técnicos no se requiere de grandes caudales de agua, porque son pequeñas parcelas de cultivos. Finalmente, el proyecto garantiza agua para 20 años, que está dentro de la vida útil del sistema de generación fotovoltaica, que solamente depende de la radiación solar, del clima. Es un recurso energético gratuito, renovable. (Vargas Quispe, 2018).

Contexto nacional

Es así como Dany Franco Auccacusi Montejo en su tesis titulada "Análisis Técnico Y Económico Para La Selección Del Equipo Óptimo De Bombeo En Muskarumi -

Pucyura - Cusco Usando Fuentes Renovables De Energía." donde el objetivo principal es mejorar la calidad de vida de la población rural presentando una solución a la problemática de falta de agua para riego en una zona específica del Perú, analizando su geografía, clima, fuentes hídricas y racionalidad de la población.

Por lo tanto, se realizó el análisis técnico y económico para la selección del equipo óptimo de bombeo en Muskarumi - Pucyura - Cusco usando fuentes renovables de energía, para lo cual se determinó que el caudal de agua necesario para 3 hectáreas de cultivo, durante el día más seco del año, es de aproximadamente 3 l/s por lo que se necesitaría bombear un volumen de 282 m³ al día; por otro lado, se definió que el tipo de riego más adecuado para la zona es el de aspersión. Entonces eligiendo los aspersores a utilizar se determinó que se necesita en promedio de 3.5 bar de presión, lo cual nos da la referencia de la altura en la cual se debe ubicar el tanque de agua. Se realizó el análisis económico con el fin de hallar la rentabilidad del proyecto tomando como tasa de interés mínima 11% anual según Agrobanco, por lo que se hallaron los costos fijos y variables de todas las bombas analizadas, así como el costo de producir vegetales en la zona, para luego realizar un análisis financiero mediante las técnicas de evaluación del valor actual neto y tasa interna de retorno determinando qué productos agrícolas harán factible el proyecto. Por lo expuesto antes, según el análisis económico, los requerimientos de caudal y presión para el sistema de riego se seleccionó la bomba solar como el equipo óptimo de bombeo para la zona de estudio, además se determinó que el producto en generar mayor utilidad es la cebolla. Aplicando el uso de la bomba solar, el costo aproximado del proyecto de bombeo y riego es de aproximadamente \$39 000 cuyo valor actual neto es de \$54 000 y tasa interna de retorno es de 58%, lo cual nos indica la rentabilidad y factibilidad del mismo.

Según Armando Juvenal Llanqui Coilan en su tesis titulada "Análisis Comparativo de las Alternativas de Bombeo de Agua con Energía Solar y Energía a Diésel en las comunidades de Sancayuni y Villa Orinojon - Isla Amantani" el objetivo principal es mejorar la calidad de vida de la población rural ya que se encuentra ubicada a distancias largas donde no puede contar con agua potable donde el consumo es cada vez mayor, motivo por el cual se debe suministrar de manera adecuada y racional. En la actualidad las comunidades de Sancayuni y Villa Orinojon no disponen de los servicios básicos de agua potable ni desagüe, las poblaciones de las comunidades consumen el agua de pozos que están ubicados en lugares lejanos a sus viviendas que distan de 500 a 700 m. y sin ningún control sanitario ni tratamiento previo, muchas veces llegando a consumir del lago Titicaca principalmente en épocas de escases de agua. Para realizar el presente trabajo se evaluará la situación actual de los sistemas de bombeo existentes en el lugar e investigación para luego determinar la mejor alternativa, tomando en cuenta las ventajas y desventajas de cada uno y realizando un análisis económico de las alternativas para evaluar el costo de vida en su operación y mantenimiento de ambos sistemas de bombeo, para así seleccionar la alternativa más adecuada para la zona de estudio.

Al realizar el presente estudio llegamos a la conclusión de que la mejor alternativa para solucionar el problema de agua potable en dichas comunidades, es el bombeo de agua potable mediante la utilización de la energía solar, debido a que no requiere de mano de obra calificada para la operación y mantenimiento ya que solo consiste en realizar las limpiezas de los paneles, limpieza del tanque, esto lo puede realizar el propio beneficiario y el costo del ciclo de vida útil en un periodo de 20 años asciende a S/. 668,533.14 mientras que del bombeo con energía a diésel es de S/. 761,168.43 teniendo una diferencia el monto de S/ 92,635.29, y mensual con energía solar

asciende a S/. 450.00 mensuales, mientras que en la generación de energía a diésel tiene un costo de S/. 1,238.08, siendo mayor y más complicado y requiere de un personal técnico especializado.

2.2. Desarrollo de la temática correspondiente al tema desarrollado

2.2.1. Energía solar

El sol produce aproximadamente $1,1 \times 10^{20}$ Kilovatios hora cada segundo (1 Kilovatio hora es la energía necesaria para iluminar una bombilla de 100 Vatios durante 10 horas). La atmosfera exterior intercepta aproximadamente la mitad de una billonésima parte de la energía generada por el sol, o aproximadamente 1,5 trillones ($1,5 \times 10^{18}$) de kilovatios hora al año. Sin embargo, debido a la reflexión, dispersión y absorción producida por los gases de la atmósfera, solo un 47% de esta energía, o aproximadamente 0,7 trillones ($0,7 \times 10^{18}$) de Kilovatios hora alcanzan la superficie de la tierra.

Transformación de la energía solar

La energía solar se puede transformar de dos maneras:

- La primera utiliza una parte del espectro electromagnético de la energía del sol para producir calor. A la energía obtenida se le llama energía solar térmica y se aprovecha mediante el empleo de colectores térmicos.
- La segunda, utiliza la otra parte del espectro electromagnético de la energía del sol para producir electricidad (conversión fotovoltaica). A la energía obtenida se le llama energía solar fotovoltaica y se aprovecha mediante el uso de módulos o paneles solares fotovoltaicos.

2.2.2. Sistemas solares fotovoltaicos

En términos generales, el sistema fotovoltaico está conformado por el conjunto de componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos utilizados en el aprovechamiento de la energía solar disponible para transformarla en energía eléctrica.

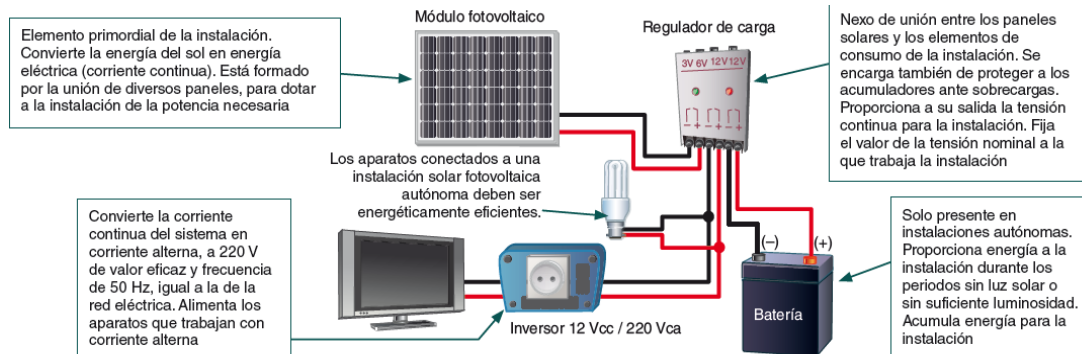


Figura 1 Estructura de un sistema fotovoltaico

2.2.2.1 Generalidades

Los sistemas solares fotovoltaicos convierten directamente parte de la energía de la radiación solar en electricidad. Las celdas fotovoltaicas se fabrican principalmente con Silicio, el segundo elemento más abundante en la corteza terrestre (arena de los mares). Cuando al silicio se le agregan otros materiales de ciertas características, obtiene propiedades eléctricas únicas en presencia de radiación solar.

El componente básico de este modo directo de conversión es la célula solar, con la que se construyen los paneles solares, los cuales proporcionan una corriente eléctrica de valor dependiente de la energía solar que incide sobre su superficie.

Un conjunto de componentes complementarios al panel permite acumular la energía eléctrica para utilizarla en tiempos diferentes a los de su obtención, cambiarla de forma a corriente alterna para alimentar electrodomésticos u otros equipos, y

adaptarla para su inyección a las redes públicas de distribución de energía eléctrica, operación que requiere del proceso de sincronización de fase.

Cabe resaltar que las celdas fotovoltaicas no tienen partes móviles, son virtualmente libres de mantenimiento y tienen una vida útil de entre 20 y 30 años, además poseen la ventaja de que no contaminan, lo cual contribuye a atenuar las emisiones contaminantes, consecuentemente surgen como una importante alternativa para reducir la dependencia del petróleo en la generación de energía eléctrica, además de que las energías alternativas son energías inagotables.

2.2.2.2 Efecto Fotovoltaico

El efecto aprovecha la energía radiante del sol en forma de fotones para generar la electricidad por medio de un semiconductor conectado a un circuito.

Los fotones inciden sobre el semiconductor excitando los electrones del mismo, que se ponen en movimiento generando así una corriente eléctrica. Para favorecer el efecto fotovoltaico se introducen en el material semiconductor elementos químicos que ayudan a producir un exceso de electrones y de huecos, proceso llamado dopado. A los elementos químicos que ayudan a realizar este proceso se denominan dopantes.

Existen dos tipos de semiconductores:

- Tipo P o positivo
- Tipo N o negativo

En los semiconductores de tipo P o positivo, el agente dopante del silicio (Si) es el boro (B), este elemento químico tiene un electrón menos en su capa de valencia más externa que el silicio. La unión del boro y el silicio provocará la existencia de un

hueco debido a la falta de un electrón en el boro, este hueco permitirá el movimiento de los electrones al incidir los fotones procedentes del sol sobre la superficie del semiconductor.

En los semiconductores N o negativos, el agente dopante del silicio (Si) es el fósforo (P), este elemento tiene un electrón más que el silicio, y cuando sustituye a un átomo de silicio provoca que exista un electrón de más que quedará libre, y esto permitirá el movimiento de los electrones al incidir los fotones del Sol.

Los nombres positivo y negativo se refieren a la carga que queda libre en la red cristalina y no a un estado descompensado eléctricamente.

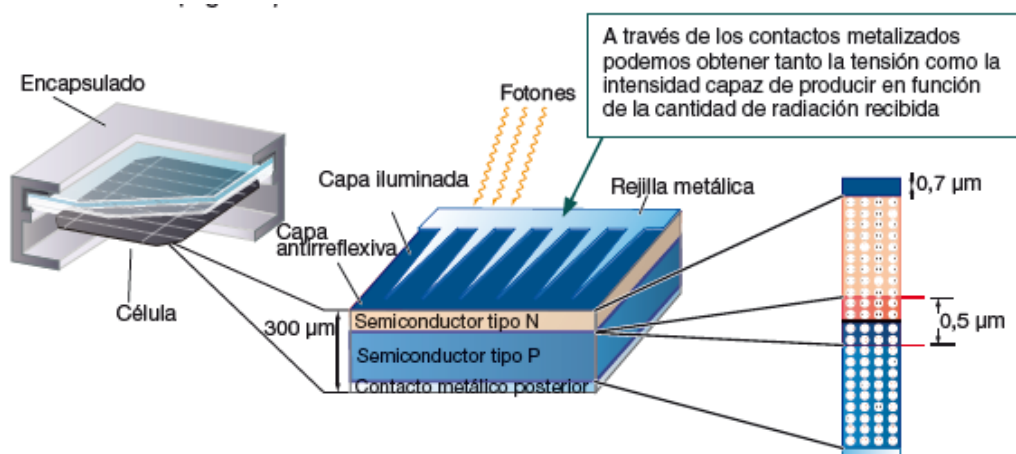


Figura 2 Estructura de la célula solar

Si unimos un semiconductor tipo P con un semiconductor tipo N, en la zona de unión algunos electrones libres de la región N pasarán por difusión a la zona P, atravesando la frontera e instalándose en los huecos libres de la misma. Por ese motivo la zona más cercana a la frontera se quedará con carga negativa en el semiconductor P y con carga positiva en el N.

Con este proceso se forma una unión P-N en donde el campo eléctrico creado, gracias al paso de las cargas, creará una barrera de potencial que no deja que el

proceso de difusión siga indefinidamente. Si los fotones procedentes del sol, inciden sobre la superficie de una unión P-N, con suficiente energía, harán que los electrones de estos se liberen, si existe suficiente potencial serán expulsados del semiconductor por medio de un circuito conectado al mismo por el que puedan circular, produciéndose así una corriente eléctrica.

La unión de los semiconductores P y N, no funciona como una batería almacenando químicamente electricidad, lo que produce es una transformación de la energía del Sol, que la transmite por medio de los fotones que inciden sobre la superficie de la célula fotovoltaica, que produce electricidad, ya que permite el movimiento de los electrones.

2.2.3. Elementos de un sistema fotovoltaico

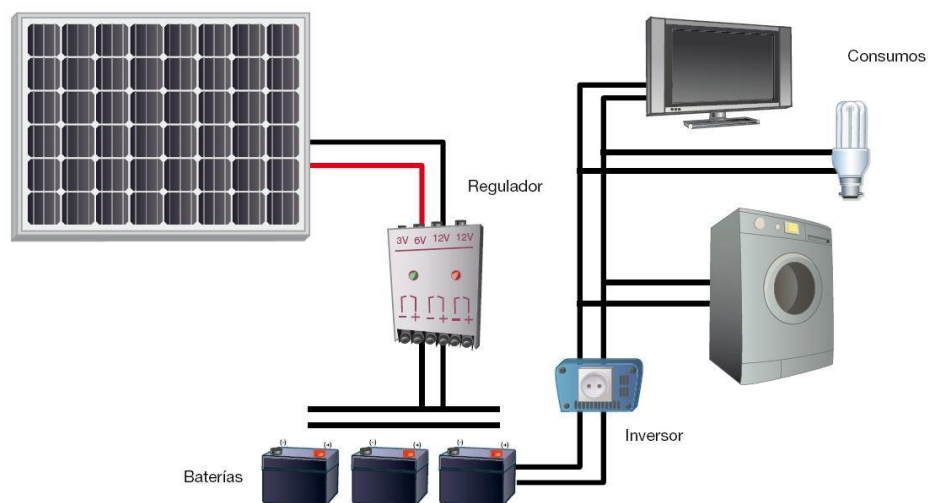


Figura 3 Componentes operativas de un sistema fotovoltaico

2.2.4. Célula Solar Fotovoltaica

La célula solar es el componente básico del modo directo de conversión y está basada en el Silicio el cual se extrae de la arena común (SiO_2 : dióxido de Silicio).

Una célula fotovoltaica está formada por una unión P-N de material semiconductor

que hace posible que se genere una barrera de potencial para producir el efecto fotovoltaico.

El tamaño de una célula va desde unos pocos centímetros cuadrados hasta 100 cm² o incluso más, variando su forma desde la circular hasta la cuadrada o una forma derivada de las dos anteriores.

Las células las conectaremos en serie, de forma que los electrones expulsados de una sean recogidos por la otra, para obtener una energía adicional que ayude a lograr una diferencia de potencial al circuito exterior, entre 6 y 24 V.

Para la producción de la célula fotovoltaica, es necesario procesar la arena (SiO_2) para llevarla a su forma final y comercial de la celda capaz de proporcionar energía eléctrica, este proceso se describe en la figura siguiente:



Figura 4 Célula solar fotovoltaica

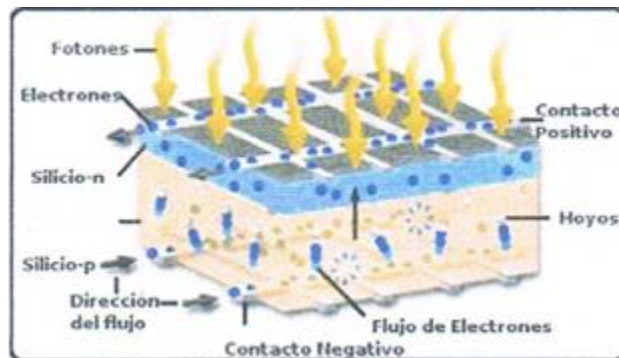


Figura 5 Funcionamiento de célula fotovoltaica

El primer tipo de célula fabricado y más común es de silicio puro mono-cristalino, su fabricación se realiza mediante el método Czochralski o Cz, en el que se parte de la sílice de silicio excepcionalmente puro, que se funde en un crisol con una pequeña proporción de boro, hasta que se forma una masa a 1400 °C.

Cuando toda la mezcla se encuentra en estado líquido, se coloca una varilla en cuyo extremo hay un cristal germen de silicio, sobre el cual se van disponiendo lentamente nuevos átomos del material procedentes del líquido, quedando perfectamente ordenados según la estructura de cristal.

De esta forma se obtiene un monocristal cilíndrico de tamaño suficiente que se corta en obleas circulares extrafinas (o cuadradas si el cilindro se ha cortado convirtiéndolo en paralelepípedo rectangular) de tres décimas de milímetro de grosor, que serán tratadas químicamente en su superficie.

También se realiza un tratamiento anti reflectante, para conseguir formar estructuras piramidales miniaturizadas en la superficie que va a recibir la radiación, de tal forma que el rayo reflejado, antes de que se pierda, tenga muchas posibilidades de volver a incidir.

Por último, se provee a la célula de los contactos eléctricos adecuados, para que los electrones salgan y entren de la célula de una forma fácil. Mediante procesos

electroquímicos y serigráficos se deposita una rejilla formada por una aleación conductora de buena calidad y con la geometría necesaria para conseguir recoger de forma óptima los electrones, tratando de tapar la mínima superficie útil de la célula.

Los contactos eléctricos en las células fotovoltaicas forman una rejilla metálica en su parte frontal, está unida de forma directa al semiconductor y consiste en una serie de "dedos" unidos mediante tiras metálicas.

Dependiendo del tipo de diseño de los contactos eléctricos o dedos afectará al rendimiento de la célula fotovoltaica de dos maneras:

- Sombreado parcial, que impide que la radiación incida en parte de la célula, implicando una reducción del rendimiento.
- Resistencia eléctrica, tanto del propio material empleado como de la unión semiconductor-metal (acarrea pérdida en el rendimiento y sobrecalentamiento)

Tras haber pasado todos los controles de calidad necesarios, se puede decir que la célula ya está terminada y lista para ser utilizada y lista para ser utilizada, uniéndola a otras para formar un panel solar.

El rendimiento de la célula fabricada es aproximadamente la mitad del rendimiento teórico del material construido. Esta pérdida se debe a:

- Pérdidas por reflexión, que pueden ser reducidas, nunca desaparecen del todo.
- La incidencia de los fotones en la rejilla metálica, en lugar de incidir sobre el material semiconductor.
- Las pérdidas por efecto Joule, es decir, pérdidas por calor
- Por todo esto, el rendimiento de una célula de silicio no suele superar el 15%.

Actualmente, las tecnologías de fabricación de materiales se basan en el diseño conocido como de película delgada, que consiste en producir una capa muy fina de 1 o 2 mm de grosor de material semiconductor para posteriormente depositarlo en un sustrato adecuado, y así formar un módulo continuo en el que sean innecesarias las interconexiones interiores.

2.2.4.1 Clasificación de célula solar Fotovoltaica

Según el tipo de material empleado para su fabricación, se clasifican en:

- **Módulos de Silicio Monocristalino:** Son los más utilizados debido a su gran confiabilidad y duración, ya que su eficiencia de conversión de luz solar en electricidad es mayor al 14%.

Estas celdas están formadas por un sólo tipo de cristal que se obtienen a partir de barras cilíndricas de silicio monocristalino producidas en hornos especiales. Las celdas se obtienen por cortado de las barras en forma de obleas cuadradas delgadas (0,4-0,5 mm de espesor) y su precio es ligeramente mayor que los otros tipos.

- **Módulos de Silicio Policristalino:** Estas celdas se obtienen a partir de bloques de silicio puro en moldes especiales. En los moldes, el silicio se enfría lentamente, solidificándose. En este proceso, los átomos no se organizan en un único cristal, formándose una estructura policristalina con superficies de separación entre los cristales. Su eficiencia en conversión de luz solar en electricidad es algo menor a las de silicio monocristalino.
- **Módulos de Silicio Amorfo:** Tiene menor eficiencia que los dos anteriores, pero un precio mucho menor, además son delgados y ligeros, hechos en forma flexible, por lo que se pueden instalar como parte integral de un techo o pared.

Se obtienen mediante la deposición de capas muy delgadas de silicio sobre superficies de vidrio o metal. Su eficiencia en conversión de luz solar en electricidad varía entre un 5 y un 7%. Son, por consiguiente, los más baratos y menos duraderas. Son las utilizadas en calculadoras y aparatos por el estilo ya que la energía que proporcionan es muy baja.

Durante la última década, se ha estado desarrollando nuevos tipos de celdas solares de materiales diversos, entre las que encontramos, por ejemplo, a las celdas de película delgada y a las celdas de CIS (diseleniuro de indio de cobre) y CdTe (telururo de cadmio). Estas están comenzando a ser comercializadas.

2.2.4.2 Diferencia entre los paneles policristalinos y los monocristalinos

Los paneles fotovoltaicos están compuestos por células fotovoltaicas de silicio monocristalino o policristalino. La diferencia entre una y otra radica en el procedimiento de fabricación. Las células de silicio monocristalino se obtienen a partir de silicio muy puro, que se refunde en un crisol junto con una pequeña proporción de boro.

Una vez que el material se encuentra en estado líquido se le introduce una varilla con un "cristal germen" de silicio, que se va haciendo recrecer con nuevos átomos procedentes del líquido, que quedan ordenados siguiendo la estructura del cristal. De esta forma se obtiene un monocristal dopado, que luego se corta en obleas de aproximadamente 3 décimas de milímetro de grosor. Estas obleas se introducen después en hornos especiales, dentro de los cuales se difunden átomos de fósforo que se depositan sobre una cara y alcanzan una cierta profundidad en su superficie. Posteriormente, y antes de realizar la serigrafía para las interconexiones

superficiales, se recubren con un tratamiento anti reflexivo de bióxido de titanio o zirconio.

En las células policristalinas, en lugar de partir de un monocristal, se deja solidificar lentamente sobre un molde de pasta de silicio, con lo cual se obtiene un sólido formado por muchos pequeños cristales de silicio, que pueden cortarse luego en finas obleas policristalinas.

2.2.5. Panel Fotovoltaico

Un panel fotovoltaico está formado por un conjunto de células solares conectadas eléctricamente entre sí en serie y paralelo hasta conseguir el voltaje adecuado para su utilización.

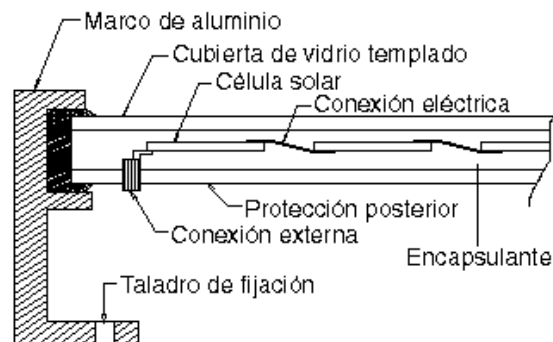


Figura 6 Corte transversal de un panel fotovoltaico

Este conjunto de células está envuelto por unos elementos que le confieren protección frente a los agentes externos y rigidez para acoplarse a las estructuras que lo soportan. Los elementos son los siguientes:

- Encapsulante, constituido por un material que debe presentar una buena transmisión a la radiación y una degradabilidad baja, con respecto a la acción de los rayos solares.

- Cubierta exterior de vidrio templado, que, aparte de facilitar al máximo la transmisión luminosa, debe resistir las condiciones climatológicas más adversas y soportar cambios bruscos de temperatura.
- Cubierta posterior, constituida normalmente por varias capas opacas que reflejan la luz que ha pasado entre los intersticios de las células, haciendo que vuelvan a incidir otra vez sobre éstas.
- Marco de metal, normalmente de aluminio, que asegura rigidez y estanqueidad al conjunto, y que lleva los elementos necesarios para el montaje del panel sobre la estructura soporte.
- Cableado y bornes de conexión, protegidos de la intemperie por medio de cajas estancas.
- Diodo de protección contra sobre cargas u otras alteraciones de las condiciones de funcionamiento del panel.

a) Unión de paneles solares

Normalmente, en las instalaciones fotovoltaicas es necesaria la utilización de más de un panel para satisfacer las necesidades energéticas de la misma, por lo que será necesario recurrir a la asociación de paneles en serie y paralelo para obtener los valores de voltaje y corriente necesarios.

La conexión de dos o más paneles en serie producirá una tensión igual a la suma de la tensión individual de cada panel, manteniéndose invariable la intensidad, que será la suministrada por un panel. Por el contrario, en la conexión en paralelo, será la intensidad la que aumente, manteniéndose la tensión igual a la de un panel.

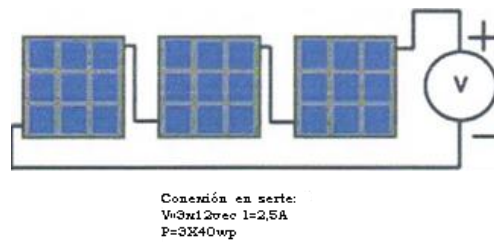


Figura 7 Conexión en serie

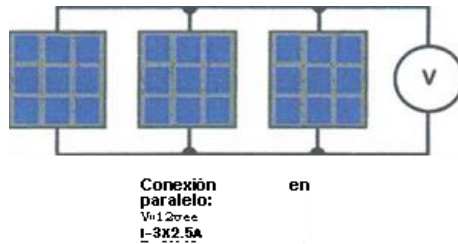


Figura 8 Conexión en paralelo

b) Protección en generadores Fotovoltaicos (Diodos)

El efecto de sombreado parcial suele ser en la mayoría de las ocasiones inevitable, y es el que puede hacer que la célula invierta su polaridad y se convierta en una carga que disipe toda la energía producida por el resto de células que tenga asociados en serie. Esta potencia disipada en la célula aumentará de forma considerable su temperatura, pudiendo llevarla a la destrucción.

Este fenómeno se conoce con el nombre de punto caliente, y para evitar que se produzca se recurre a insertar protecciones (diodos) en los paneles.

- **Diodos de Paso o "BY-PASS":** Los diodos de paso se colocan en paralelo en asociaciones de células conectadas en serie, para impedir que todos los elementos de la serie se descarguen sobre la célula que resulta sombreada.

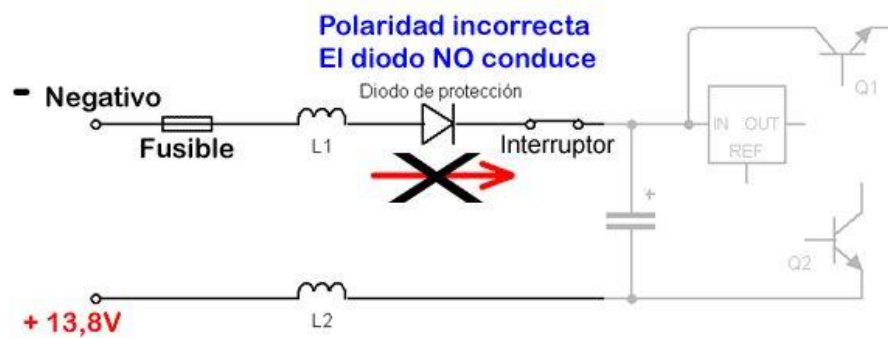


Figura 9 Diodo de paso

- Diodos de Bloqueo: Los diodos de bloqueo se utilizan en las instalaciones fotovoltaicas para realizar dos funciones principales:
 - Evitar que la batería se descargue sobre el campo fotovoltaico por la noche.
 - Bloquear la circulación de corrientes inversas de ramas en paralelo, sombreadas durante el día.

Las descargas nocturnas de las baterías se pueden evitar colocando diodos de bloqueo conectados en serie entre la batería y el generador fotovoltaico. Estos diodos impiden la circulación de corriente desde la batería al campo fotovoltaico.

Al conectar en paralelo varias ramas de paneles fotovoltaicos, se puede dar el caso de que una de ellas quede en sombra y que las corrientes generadas por las otras ramas se deriven hacia esta. Los diodos de bloqueo conectados en serie en cada una de las ramas en paralelo evitan el paso de corriente en sentido inverso, "aislando" las ramas sombreadas.

Normalmente, en este tipo de configuraciones, los diodos de bloqueo están todos situados en una caja de conexiones exterior a la que llegan los cables positivos procedentes de cada una de las ramas del campo generador y un cable de mayor sección en el que se agrupan los terminales negativos.

c) Funcionamiento de los paneles Fotovoltaicos en días nublados

Los paneles fotovoltaicos generan electricidad incluso en días nublados, aunque su rendimiento disminuye. La producción de electricidad varía linealmente a la luz que incide sobre el panel; un día totalmente nublado equivale aproximadamente a un 10% de la intensidad total del sol, y el rendimiento del panel disminuye proporcionalmente a este valor.

d) Rendimiento de un panel Fotovoltaico

El rendimiento de un panel fotovoltaico depende fundamentalmente de la intensidad de la radiación luminosa y de la temperatura de las células solares. En la imagen se aprecia el efecto que produce la temperatura sobre la producción de corriente en el módulo. Este efecto se manifiesta en el voltaje del módulo. La potencia nominal se reduce aproximadamente 0.5% por cada grado centígrado por encima de 25°C.

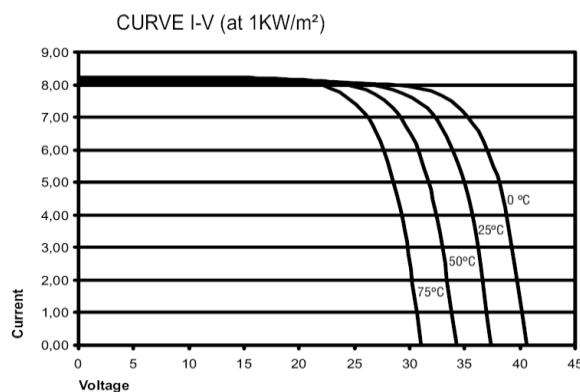


Figura 10 Voltaje vs Corriente con variable temperatura

En la siguiente imagen se aprecia que los parámetros de tensión e intensidad no son determinantes ya que como los valores de tensión e intensidad del inversor son

mayores, tendremos que conectar los paneles en serie-paralelo para adaptar estos valores en la mejor medida posible.

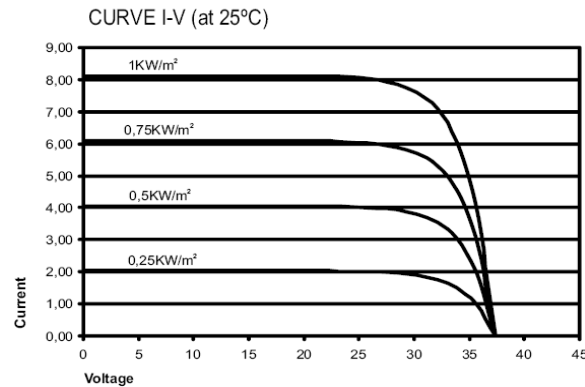


Figura 11 Voltaje vs Corriente considerando la conexión de los paneles

e) Vida útil de un panel solar Fotovoltaico

Teniendo en cuenta que el panel carece de partes móviles y que las células y los contactos van encapsulados en una robusta resina sintética, se consigue una muy buena fiabilidad junto con una larga vida útil, del orden de 30 años o más. Además, si una de las células falla, esto no afecta al funcionamiento de las demás, y la intensidad y voltaje producidos pueden ser fácilmente ajustados añadiendo o suprimiendo células.

f) Resistencia mecánica de los módulos solares

Los paneles van protegidos en su cara exterior con vidrio templado, que permite soportar condiciones meteorológicas muy duras tales como el hielo, la abrasión, cambios bruscos de temperatura, o los impactos producidos por el granizo. Una prueba estándar para su homologación consiste en lanzar (con un cañón neumático) una bola de hielo de dimensiones y consistencia preestablecidas al centro del cristal.

g) Estándares para módulo fotovoltaico

Los módulos fotovoltaicos son certificados de acuerdo con la norma internacional EEC-61215 o con la norma nacional para módulos fotovoltaicos utilizada en el país de interés.

Este requisito actualmente excluye los módulos fotovoltaicos de capa delgada, aunque existen procedimientos de certificación para estos módulos (IEC-61646, SERI/TR-213-3624). Los módulos de capa delgada se permiten en algunos proyectos financiados por el Banco Mundial, y nuevos y prometedores módulos están surgiendo en los mercados internacionales. Pero hasta ahora las experiencias de campo con los módulos de capa delgada disponibles comercialmente han sido bastante desalentadoras. Su uso en programas de electrificación a gran escala se considera todavía muy arriesgado.

Algunos fabricantes incluyen sistemáticamente diodos de paso (by-pass) en sus módulos fotovoltaicos, para protegerlos contra el fenómeno de "punto caliente". Sin embargo, debe señalarse que la probabilidad de que un módulo fotovoltaico sea dañado por efecto de "punto caliente" es prácticamente despreciable en los sistemas de CC que funcionen a menos de 24 V. Es por esto que el uso de tales diodos es irrelevante en los Sistema Fotovoltaicos Domésticos (SFDs).

2.2.6. Clasificación de Instalaciones solares fotovoltaicas

Las instalaciones están clasificadas en tres versiones dependiendo de su arquitectura y utilización.

a) Instalaciones aisladas de la Red

Los sistemas aislados al no estar conectados a la red eléctrica, normalmente están equipados con baterías de acumulación para la energía producida. La acumulación es necesaria, porque el sistema fotovoltaico depende de la

insolación captada durante el día, y a menudo la demanda de energía por parte del usuario se concentra en las horas de la tarde y nocturnas.

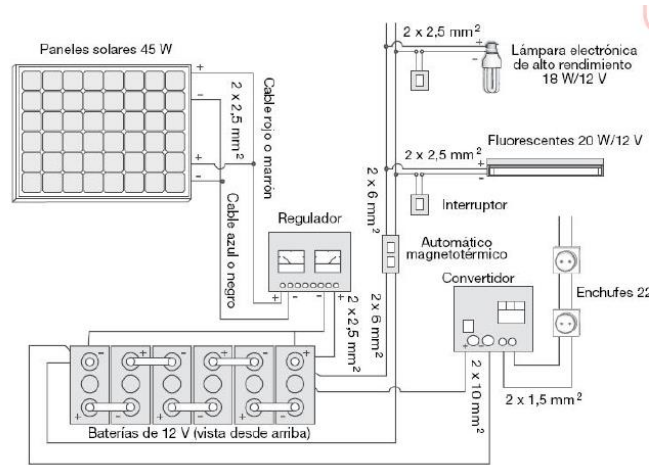


Figura 12 Diagrama de Sistema fotovoltaico sin conexión a red.

b) Instalaciones con conexiones a la Red

A diferencia de los sistemas aislados, este tipo de sistemas no tienen baterías de acumulación para la energía producida por el sistema, ya que la energía producida durante las horas de insolación es canalizada hasta la red eléctrica y la carga es alimentada directamente por la red. Una instalación de este tipo resulta más fiable desde el punto de vista de continuidad energética, que una instalación no conectada a la red, que en caso de avería y de no disponer de un grupo eléctrico de apoyo, no tendría posibilidad de alimentación.

En los sistemas de conexión a red, es necesario cumplir los requisitos técnicos demandados por la compañía eléctrica a la cual está conectado nuestro sistema. De igual manera se incluirá dentro de nuestro sistema fotovoltaico, un conjunto de medición, para contabilizar la energía producida por el sistema fotovoltaico durante su periodo de funcionamiento.

Corresponden a las que están conectadas a la red pública (figura 2.13) de distribución para dos finalidades:

- Venta de la totalidad de la energía eléctrica generada.
- Venta de la energía eléctrica sobrante con respecto a la necesitada en el lugar de generación.

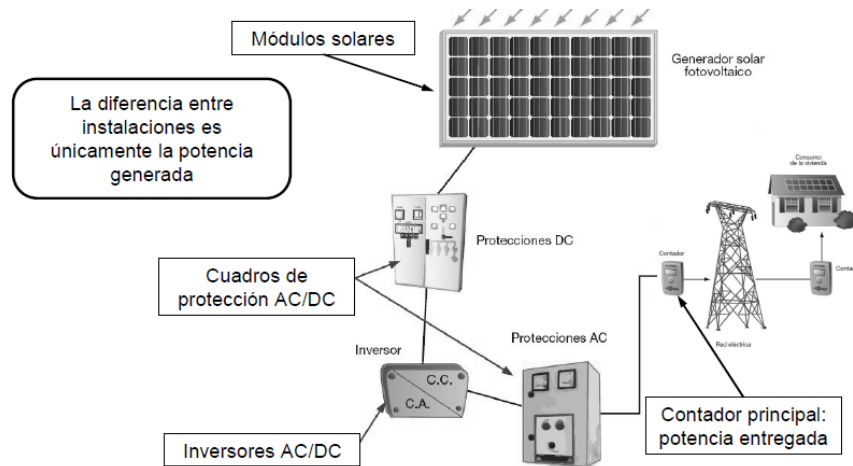


Figura 13 Sistema fotovoltaico conectado a red

c) Instalaciones Híbridas

Son instalaciones que incorporan diferentes fuentes generadoras de electricidad para la misma aplicación. La finalidad es obtener el máximo aprovechamiento de los recursos energéticos de cada fuente generadora en todo momento, son dos las fuentes adicionales que pueden complementar a los sistemas fotovoltaicos.

- **Aerogeneradores:** Cuya energía se suma a la de los paneles foto-voltaicos en presencia de vientos durante el día y en la noche es el principal suministrador cuando los paneles cesan su actividad.
- **Generadores:** Basados en un motor de combustión, los cuales entran en funcionamiento automáticamente cuando la energía disponible del sistema fotovoltaico es inferior a la de la demanda.

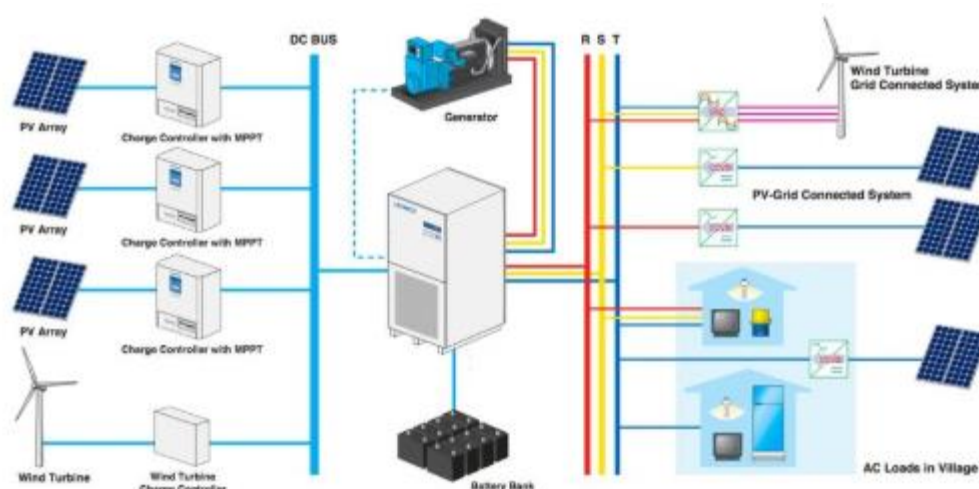


Figura 14 Diagrama de bloques de una instalación aislada híbrida

2.2.7. Regulador de carga

El regulador de tensión es un dispositivo electrónico cuya misión es proteger a la batería frente a sobrecargas y descargas profundas, permitiendo alargar la vida útil.

En una instalación fotovoltaica autónoma, durante el día, la energía eléctrica que proviene de los paneles alimenta el consumo y el exceso de energía carga la batería; durante la noche o en días nublados e los que los paneles no generan energía o la energía generada no es suficiente para alimentar el consumo, la batería se descarga.

El controlador de carga dispuesto entre el sistema generador y el de acumulación, del que se toma la energía eléctrica para el consumo, permite mantener los dos ciclos en correspondencia con las características de carga/descarga de las baterías utilizadas y, para ello, recurre a dos posibles sistemas de operación: la aplicación automática de un algoritmo de carga/descarga adecuado a las baterías conectadas al regulador o bien mediante programación previa en el equipo de los parámetros de carga/descarga, datos que proporcionan los fabricantes de baterías.

La selección del tipo de regulador en una planta o instalación fotovoltaica está en relación a la tensión del sistema y a la corriente de cortocircuito soportada por el campo fotovoltaico, medidas en condiciones estándar, utilizando normalmente un margen o factor de seguridad de 25% (1,25) debido a que la radiación incidente puede ser superior a los 1000W/m².

La conexión directa de los paneles fotovoltaicos a las baterías, y éstas a su vez unidas de modo directo con los dispositivos a alimentar, podría dar lugar a ciclos de sobrecarga y descarga, en caso que sean diferentes a los valores requeridos llevarían a un deterioro prematuro tanto de la batería como del panel.

La sobrecarga de las baterías puede ser provocada por la disminución o anulación del consumo, lo que supone el aumento de la tensión proporcionada por los paneles solares.

En los reguladores actuales, los interruptores utilizados son mayoritariamente de estado sólido (MOSFET o transistores de potencia) y sus características son:

- Menor potencia de activación a aplicar.
- Más pequeños y más simples debido a que se basan en relés electromecánicos.
- Operación en mayor número de ciclos de regulación.

2.2.7.1 Tensión de Regulación

Reciben el nombre de puntos de regulación los niveles de tensión en los que el regulador realiza el control o los cortes. En los reguladores se utilizan cuatro valores de tensión de regulación:

- a) **Tensión de rearme de carga (V_{rc}):** Es el valor de tensión a la que el regulador vuelve a reconectar el generador fotovoltaico a la batería.
- b) **Tensión de corte de sobrecarga (V_{sc}):** Es el valor de tensión a la que el regulador se desconecta del generador fotovoltaico a la batería.
- c) **Tensión de corte de sobre descarga (V_{sd}):** Es el valor de tensión de la batería por debajo del cual se interrumpe el suministro de electricidad a las cargas de consumo. La desconexión del suministro de electricidad a las cargas de consumo se deberá realizar cuando la batería alcance la profundidad de carga máxima permitida, esto se consigue eligiendo adecuadamente la tensión de desconexión en el regulador. Para baterías de plomo-ácido de 12V de tensión nominal, los valores típicos utilizados para V_{sd} están entre 11,0 y 11,5V. Generalmente se elige un V_{sd} , de forma que la descarga de la batería no sea superior al 75-80% de profundidad de descarga.
- d) **Tensión de rearme de descarga (V_{rd}):** Es la tensión a la que se reconecta de nuevo la batería, permitiendo consumos eléctricos. Los valores típicos de tensiones de rearme para baterías de Pb-ácido de 12,0V se encuentran entre 12,5 y 13 V.

En la mayor parte de los reguladores se pueden ajustar las tensiones de regulación para adecuar los niveles de corte al tipo de batería utilizado en la instalación fotovoltaica. Estos ajustes únicamente serán realizados por personal cualificado y no serán accesibles al usuario. Los reguladores de carga estarán protegidos frente a cortocircuitos en la línea de consumo y contra la posibilidad de desconexión accidental de la batería con el generador fotovoltaico produciendo y con cualquier carga.

Las pérdidas de energía diarias originadas por el autoconsumo de regulador en condiciones normales de operación deben ser inferiores al 3% del consumo diario de energía.

El regulador de carga al menos estará etiquetado con la siguiente información:

- Tensión nominal (V).
- Corriente máxima (A).
- Fabricante y número de serie.
- Polaridad de los terminales y conexiones.

Los reguladores comerciales más frecuentes en el mercado oscilan entre los 5 y los 50 A para tensiones de 12 a 24 V.

2.2.7.2 Compensación de la Temperatura

Las tensiones de sobrecarga pueden ser controladas por los reguladores con la temperatura, para esto se tiene en cuenta la dependencia de la tensión final de la carga con la temperatura existente.

Las temperaturas elevadas aceleran las reacciones químicas reduciendo el valor del voltaje final de gaseo. Por el contrario, las temperaturas bajas reducen las reacciones, la capacidad y aumentan el valor del voltaje de gaseo.

La tensión final de carga para baterías de plomo-ácido se corrige a razón de $4\text{mV}/^{\circ}\text{C}$ - $54\text{mV}/^{\circ}\text{C}$ por vaso. Normalmente, y salvo que se opere a temperaturas bajo cero, nunca se corrige por temperatura el voltaje de corte por sobre descarga, siendo conveniente ajustar la densidad del electrolito, según las condiciones locales de

temperatura ambiente (aumentándola para ambientes fríos o disminuyéndola en ambientes cálidos).

Los reguladores son dispositivos utilizados en instalaciones fotovoltaicas autónomas encargados de proteger a las baterías frente a sobrecargas y sobre descargas.

2.2.7.3 Tipos de Reguladores

a) Reguladores en serie.

El principio de funcionamiento del regulador serie es un relé o semiconductor de potencia (interruptor Si) que se coloca en serie entre el generador fotovoltaico y la batería. Este interruptor desconecta el generador de la batería, no permitiendo el paso de corriente, cuando se alcanza la tensión límite de carga, evitando de esta forma la sobrecarga, volviéndose a conectar cuando disminuye la tensión de la batería.

El regulador también incluye otro interruptor entre la batería y el consumo, S2, que evita la descarga de la misma, cortando el suministro de energía cuando se alcanza la tensión de corte por sobrecarga.

En los reguladores serie disponibles comercialmente podemos encontrar varias técnicas de control:

- **Control serie simple (On/Off):** el regulador de carga corta el consumo si la tensión en la batería alcanza el valor de la tensión de corte de sobredescarga y pone en circuito el campo fotovoltaico si la tensión de la batería supera el valor de la tensión de sobrecarga.

En esta técnica de control de carga y recarga de la batería dependen de una selección correcta de los valores de tensión corte. Si la tensión de corte de sobrecarga es demasiado elevada se producirán fenómenos de gaseo excesivo, pérdidas de electrolito, sobrecalentamientos, etc. Si, por el contrario, la batería nunca llega a plena carga (tensión de corte de sobrecarga baja), se pueden originar fenómenos de sulfatación y estratificación del electrolito.

- **Control serie, dos estados:** similar al caso anterior, con la salvedad de que la regulación del voltaje final de carga ocurre a dos voltajes: primero en un voltaje elevado de ecualización, y posteriormente un voltaje de flotación. Lo mismo sucede con la corriente de carga, en un principio se carga a plena corriente y luego se reduce.
- **Control serie lineal:** se aplica un voltaje constante a medida que la batería se acerca a V_{sc} . Una resistencia variable disipa el excedente energético que producen los paneles y que no se utiliza para cargar la batería.
- **Control por modulación PWM:** un poco antes de alcanzarse el valor de la tensión de corte de sobrecarga se aplican pulsos de corriente a frecuencia variable, de manera que la batería recibe un voltaje de carga constante del generador.

b) Reguladores en paralelo o shunt

El regulador paralelo funciona por disipación de exceso de energía a través de un transistor o MOSFET colocado en paralelo con el generador y el sistema de baterías. Cuando la tensión en bornes de la batería llega al valor de la tensión de sobrecarga, V_{sc} el regulador, en lugar de interrumpir la corriente que llega a

la batería, deriva parte de la misma, dejando pasar solo una cantidad de corriente que evita la auto descarga. La tensión de la batería se mantiene en un valor equivalente a la carga de flotación, permitiendo una carga más completa de las baterías y un mejor aprovechamiento de la energía que produce el campo fotovoltaico.

Una vez alcanzado el voltaje de corte por sobrecarga, el generador fotovoltaico se cortocircuita a través del dispositivo de disipación y el resto de la corriente se consume como corriente de cortocircuito en el campo generador fotovoltaico, transformándose en calor.

Al igual que para los reguladores serie, en los reguladores paralelo también existen distintas técnicas de control:

- **Control paralelo (On/Off):** El campo fotovoltaico se desconecta cuando se alcanza V_{sc} . Este tipo de control no se suele utilizar en reguladores con corrientes superiores a 20 A por problemas de disipación de calor.
- **Control paralelo lineal (diodo zener):** En paralelo con la batería se instala un diodo zener cuyo voltaje de polarización inversa coincide con V_{sc} de forma que cuando la batería alcanza este valor de tensión, el diodo conduce, desviando la cantidad de corriente que sea necesaria para mantener a la batería flotante.
- **Control PWM paralelo:** Se controla la corriente de carga a la batería utilizando dispositivos de alta frecuencia, manteniéndola a V_{sc} .

La conexión del regulador de carga en las instalaciones fotovoltaicas, adopta la configuración que muestra la figura siguiente:

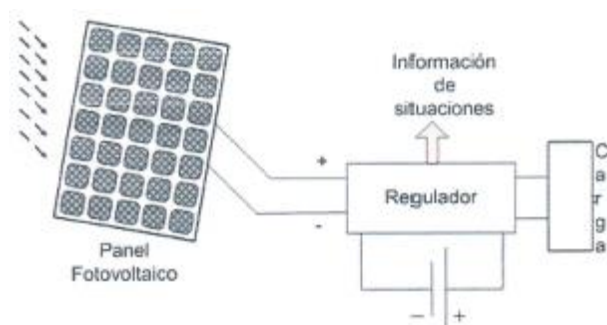


Figura 15 Conexión del controlador entre el panel y la carga

Como se puede observar, la energía a suministrar al consumo procede directamente de la batería, la cual carga el regulador con su régimen necesario, y sus funciones principales son:

- Indicación de la tensión de la batería y su estado, tal como la carga, situación de flotación, etc.
- Indicación del valor de corriente generada por los paneles, la del consumo, la resultante entre generación y consumo, etc.
- Activar el Alarma ante exceso de temperatura, ante el exceso de la energía de entrada procedente del generador, etc.

En el proceso de regulación de carga se pueden dar cuatro situaciones, cuya descripción es la siguiente:

- Cuando la recarga es completa de las baterías en las primeras horas de la luz solar.
- El Periodo de regulación, generalmente en el modo PWM (Impulso de anchura variable en función de la carga requerida), para restaurar la capacidad de las baterías como consecuencia del consumo producido.

- Cuando las baterías están completamente recargadas, el regulador pasa al modo flotante, estado en el que se mantiene mientras que no se produzcan cambios significativos en el consumo.
- Cuando el proceso de optimización de la carga de las baterías del tipo de electrolito líquido con una tensión suficientemente alta para que se produzca gas y remover así el sulfato de plomo de las placas y agitar el electrolito, el cual tiende a estratificarse en las operaciones normales.

Las configuraciones para la regulación de carga pueden ser en paralelo o Serie, lo cual el modo paralelo, o shunt, está basado en acoplar a la línea de tensión procedente del generador una carga de absorción de la energía excedente, y En serie en intercalar una carga de absorción para la misma finalidad.

2.2.8. Inversores

Un generador fotovoltaico produce corriente continua. En sistemas fotovoltaicos autónomos, cuando tenemos consumos en corriente alterna, necesitamos algún dispositivo que convierta la corriente continua generada por los paneles en corriente alterna. Para ello empleamos inversores, que son unos dispositivos electrónicos, además de ajustar esta corriente en frecuencia y en tensión eficaz para los consumos que queremos satisfacer.

La corriente continua procedente de los paneles solares, con salida en las instalaciones del regulador de carga de los acumuladores, puede ser empleada para alimentar circuitos de alumbrado y diferentes equipos eléctricos en su mayoría de corriente alterna. Tal circunstancia da lugar a la incorporación en las instalaciones fotovoltaicas del denominado inversor, el cual está configurado como un convertidor

de corriente continua a alterna (DC/AC), con salida de 127 ó 240 V a 60 Hz, dependiendo de la utilización.

El equipo recibe la corriente continua procedente del acumulador, la cual se puede emplear, así mismo, para alimentar componentes o equipos de sus mismas características o para proporcionar a la salida corriente alterna con valores de tensión y frecuencia en correspondencia con los equipos a alimentar, lo que constituye la línea de suministro principal, en las instalaciones solares para aplicación en los hogares o similares. La potencia eléctrica suministrada es una de las características de más importancia del equipo inversor.

El inversor para la aplicación en las instalaciones fotovoltaicas, está compuesto por tres bloques de circuitos, tal como lo esquematiza la figura siguiente:

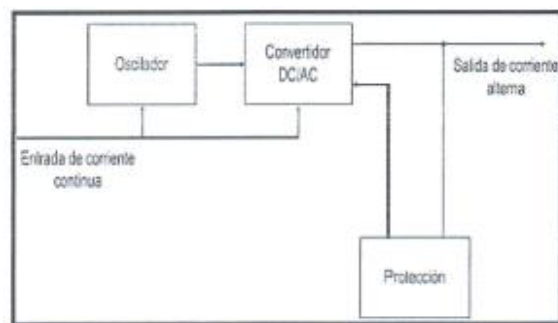


Figura 16 Diagrama de bloques del inversor DC/AC

2.2.8.1 Oscilador

Circuito que genera la frecuencia de la corriente alterna de salida. Su valor es 60Hz. Este circuito puede estar configurado mediante un oscilador con resonador cerámico o similar de frecuencia alta, la cual se divide por el factor correspondiente hasta obtener el valor requerido. Este procedimiento proporciona una elevada estabilidad en la frecuencia de salida.

2.2.8.2 Convertidor DC/AC

Este circuito corresponde al que recibe la tensión continua de entrada procedente del acumulador y la frecuencia del oscilador y genera con ello la corriente alterna de salida. La forma de onda de salida constituye la diferencia principal entre inversores, ya que puede ser sinodal pura o semisenoidal.

2.2.8.3 Protección

Circuito encargado de la vigilancia del consumo de corriente alterna para bloquear el convertidor ante un exceso, a modo de protección. Un led o similar da información del buen funcionamiento o del bloqueo por un incremento en la corriente.

2.2.8.4 Tipos de Inversores

- **Senoidales:** Proporcionan ondas senoidales, con esta forma de onda es posible alimentar equipos con componentes de condición resistiva e inductiva.
- **Semisenoidales:** En estos inversores, la forma de onda es rectangular, lo que consigue con transistores conmutadores trabajando en régimen de conmutación, con lo que se obtiene un alto rendimiento y son más económicos.

2.2.8.5 Especificaciones Técnicas

- Forma de onda: referido a la onda de salida, la cual puede ser senoidal o semisenoidal.
- Tensión nominal de entrada: valor de la tensión continua a la entrada del inversor.
- Tensión de operación: margen de la tensión de entrada que admite el inversor.
- Tensión de salida: valor nominal de tensión alterna de salida, puede indicarse como complemento el porcentaje de desviación del valor nominal.
- Frecuencia: valor de frecuencia de la corriente alterna a la salida.

- Corriente nominal de entrada: corriente consumida por el circuito de entrada a la potencia nominal de salida.
- Corriente nominal de salida: corriente que proporciona el circuito de salida alterna, potencia nominal de salida: valor de la potencia nominal en régimen de funcionamiento continuo del circuito de salida del inversor, el cual corresponde al producto entre la tensión y la corriente nominal de salida
- Rendimiento: indicación en (%) del rendimiento del inversor, el cual corresponde al cociente entre las potencias de salida y entrada, potencia de sobrecarga o de pico: valor de la potencia de salida superior a la nominal durante un tiempo especificado
- Resistencia al cortocircuito: indicación del tiempo máximo de cortocircuito de la tensión de salida que admite el inversor.
- Consumo en reposo ("stand by"): consumo de corriente del circuito de entrada con el de salida abierto, sin carga.

2.2.8.6 Características

Vamos a señalar a continuación las principales características que se deben exigir a los inversores utilizados en instalaciones fotovoltaicas autónomas.

Capacidad de sobrecarga

Un inversor debe ser capaz de proporcionar potencias punta varias veces superiores a su potencia nominal durante periodos de tiempo limitados. De esta forma puede arrancar cargas con elevados picos de corriente de arranque (como los motores), sin tener que sobredimensionarlo para el funcionamiento normal.

Para instalaciones fotovoltaicas autónomas la selección de inversor a utilizar deberá permitir arrancar y operar con todas las cargas de corriente alterna de la instalación. Se tendrá especial cuidado con las cargas con altas corrientes de arranque, para que no influyan en el correcto funcionamiento de la instalación ni en el resto de las cargas con menos de necesidades de corriente.

En un inversor, se define a su capacidad de sobrecarga como a capacidad para proporcionar una mayor potencia durante ciertos periodos de tiempo que sea mayor a la nominal por diseño.

En un inversor la potencia nominal es la potencia que es capaz de entregar de forma continua, y es especificada por el fabricante del mismo.

Rendimiento

El rendimiento de un inversor es la relación entre la potencia de salida y la potencia de entrada de este. Depende de la potencia y de la temperatura de operación. Hay que considerar que, si un inversor de una potencia nominal determinada se hace funcionar solamente a una fracción de dicha potencia, su rendimiento baja de forma considerable.

El rendimiento de un inversor no es constante en todo el rango de su potencia de operación, sino que varía en función de la potencia generada, siendo muy bajo a muy bajas potencias y aumentando de forma progresiva a medida que aumenta la potencia. La curva de rendimiento cae rápidamente para pequeñas potencias.

El rendimiento de conversión cc. /ca. en inversiones autónomos también depende del tipo de carga (resistiva, capacitiva o inductiva) conectada a este, es decir, depende del factor de potencia, $\cos \phi$.

Las curvas de rendimiento para cargas inductivas (por ejemplo, motores), es distinta de la curva para cargas resistivas ($\cos \varphi=1$). Con cargas inductivas la tensión y la corriente no están en fase, el factor de potencia es distinto de la unidad y la potencia activa entregada por el inversor se puede reducir hasta en un 30%.

2.2.9. Variador de frecuencia para bombeo solar para riego agrícola

Es fundamental disponer de la información técnica del motor para saber si se le puede acoplar un variador de frecuencia, ya que no con todos los motores puede hacerse. El variador puede operar sobre los motores de las bombas sumergidas.

Asimismo, el variador se aplica también al bombeo solar. En este caso la fuente de alimentación de energía puede proceder exclusivamente de los paneles solares o bien disponer de una fuente de alimentación híbrida (panel / red eléctrica o generador diésel).



Figura 17 Variador de frecuencia

Ventajas del empleo de variadores de velocidad

Fundamentalmente el variador nos aportará las siguientes ventajas:

a) Ahorro de energía

Ahorro de hasta un 60% de energía eléctrica si lo comparamos con otros sistemas tradicionales de regulación de caudales. El periodo de recuperación de la inversión es muy rápido.

b) Mejora del proceso productivo

La introducción de un sistema de control del par y de la velocidad de los motores permite mejorar la calidad y la productividad de los procesos.

c) Aumento de la vida útil de los motores y reducción de su mantenimiento

El elevado número de arranques en directo provoca en los motores eléctricos un estrés mecánico y eléctrico. Las sobre corrientes instantáneas durante los procesos de arranque que sufren los motores de inducción reducen su vida útil y aumentan sus costes de mantenimiento.

d) Beneficio para la naturaleza

El consumo eléctrico y de combustibles fósiles se reduce, reduciendo así las emisiones de gases de efecto invernadero.

En relación con el uso del variador aplicado a los sistemas de bombeo, además de las anteriores, nos ofrece otras nuevas ventajas:

e) Control del golpe de ariete y parada lenta de la instalación de bombeo.

f) Re-arranques automáticas tras caídas de tensión o tras cortes del flujo eléctrico.

2.2.10. Desarrollo del Cultivo de arroz

El desarrollo es un proceso complejo en el que diferentes órganos crecen, se desarrollan, se especializan y mueren, siguiendo una secuencia que a veces se superpone. Sin embargo, es muy importante considerar el desarrollo como una serie de fases para indicar los momentos en que se deben realizar los monitoreos de los puntos de chequeo contemplados en el Ricecheck, como se muestra en la figura 17.

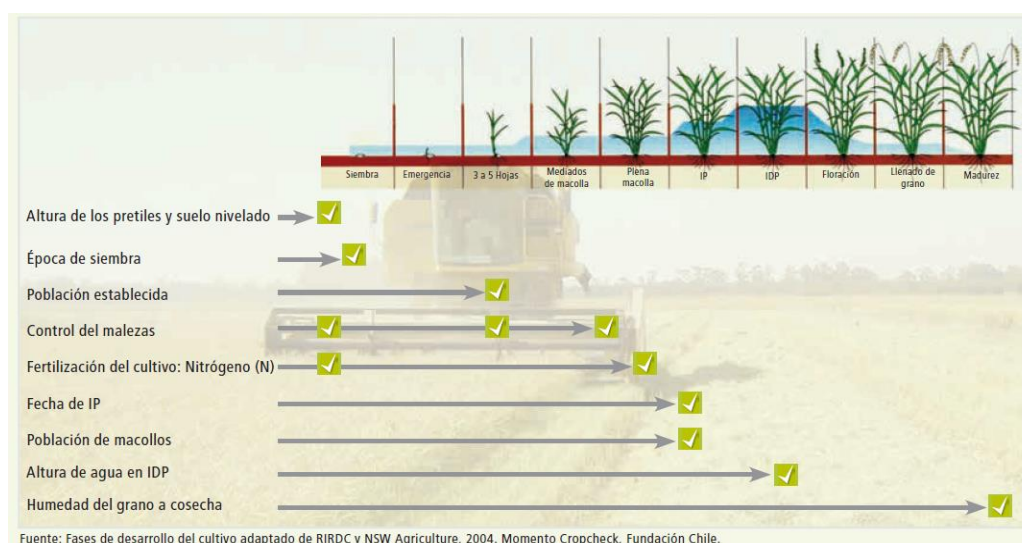


Figura 18 Fases de desarrollo del arroz y momento Ricecheck.

2.2.10.1 Diseño y Planificación del Terreno

El cultivo del arroz se realiza con un sistema de inundación permanente, por ello requiere de unidades productivas que cumplan las siguientes características:

- Cuadros amplios (pozas de cultivo), homogéneos, sin ondulación y nivelados.
- Con sistemas eficientes de conducción (canales) y de control de agua (entrada y salidas de agua del cuadro).
- Alturas de agua uniformes y precisas dentro de los cuadros.
- Velocidades de llenado y vaciado de los cuadros adecuadas a los manejos técnicos del cultivo.

Lo anterior permite aumentar la superficie efectivamente cultivada, ya que se pierde menos terreno en los bordes de los cuadros.

Dado que cada uno de los manejos técnicos depende de la rapidez y precisión con que se maneje y distribuya el agua de riego en el cultivo, ello determinará la productividad y calidad final de la cosecha. Para lograr dichos objetivos se deberá contar con un buen diseño y nivelación del suelo.

Número y distribución de pozas de cultivo en el terreno

El terreno donde se producirá arroz debe estar diseñado de manera de reducir lo más posible el número de cuadros. La disposición de las pozas de cultivo en el terreno debe facilitar el manejo del agua y su conducción, el acceso de la maquinaria y la inspección del cultivo

Para definir el número y, por ende, el tamaño de las pozas de cultivo, deberá considerar:

- **Velocidad de llenado del terreno:** Determinar cuánto tiempo le tomará llenar el terreno, que depende del caudal de alimentación del terreno (l/seg) y sus fluctuaciones durante la temporada, sistema de distribución del agua dentro del terreno (canales de avance), nivelación de los cuadros, textura y características del suelo.
- **Ancho de los implementos:** Lo ideal es que el ancho de las pozas de cultivo sea múltiplo del ancho de trabajo de los implementos que usted utiliza. Al reducir los tiempos muertos, se mejorará la eficiencia del uso de la maquinaria y disminuirá su costo asociado.

- **Limitación topográfica y de perfil de suelo:** En general los tipos de suelos se caracterizan por ser ondulados, con pendiente y con una tosca en su perfil, la cual puede estar a unos pocos centímetros (10 a 20 cm) o a mayor profundidad (60 a 80 cm). En general los terrenos son una combinación de dichos factores siendo poco homogéneos. Estas características limitan los movimientos de suelo, corte y relleno, en el proceso de nivelación.
- **Dirección del viento:** La dirección del viento predominante determinará la orientación del pretil (bordo) más largo del terreno, de manera que se ubique lo más perpendicular posible a él. Esto disminuirá el movimiento de agua por efecto del viento, que puede descalzar plantas.

Sistema de conducción de agua (alimentación y drenaje)

Se utilizan canales de distribución y conducción de agua dentro del terreno, que permitan llenar y vaciar los cuadros de manera rápida y, en lo posible, en forma independiente. Así se facilitará el manejo del agua mejorando las labores de siembra y control químico de malezas. Existen distintas alternativas de sistemas de conducción y drenaje, las cuales dependerán de cada situación en particular.

El sistema tradicional de inundación poza a poza con sólo una entrada y una salida de agua dentro del potrero dificulta el manejo del agua en el mismo.

Es importante el mantenimiento de los canales de riego (abastecimiento y evacuación): chequear, limpiar (malezas, basura) y hacer arreglos si fuese necesario, por ejemplo, si se presentan pérdidas de agua.

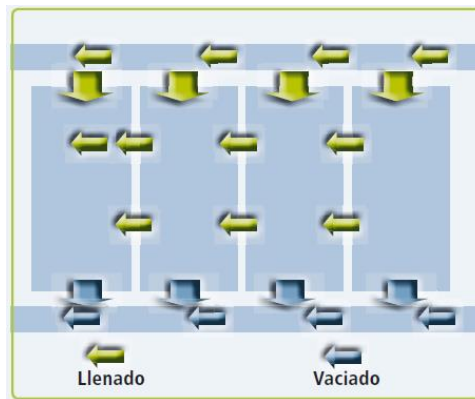


Figura 19 Esquema de conducción de agua en el terreno.

Sistema de control de caudal y lámina de agua dentro de la poza.

Como parte fundamental del sistema de manejo de agua existen distintos sistemas que permiten controlar el caudal y la lámina de agua dentro de la poza, conocidos como cajas de control.

Funciona regulando el llenado y vaciado del agua, y la altura de la lámina de agua dentro de la poza. Estos sistemas son de uso común en países como Australia y Estados Unidos. Los materiales utilizados en la estructura de las cajas de control pueden ser de

madera, cemento, metal o PVC, y generalmente madera en los mecanismos de esclusas o cierre.



Figura 20 Cajas de control de lámina de agua en la poza

Macro y micro nivelación de la superficie de las pozas.

La nivelación de suelo consiste en modificar el macro y micro relieve del terreno en general, uniformizándolo o alisándolo, manteniendo la pendiente o cambiándola, con el objeto de mejorar y facilitar el establecimiento del cultivo, su manejo agronómico y desarrollo posterior.

La nivelación de suelo produce un conjunto de ventajas que favorecen la producción de arroz:

- Propicia una mayor eficacia y eficiencia de las operaciones de preparación de suelo y siembra.
- Permite el manejo más preciso del cultivo.
- Potencia la eficiencia de aplicación de insumos y la respuesta del cultivo.
- Mejora la emergencia y establecimiento inicial de las plantas y la homogeneidad del cultivo.
- Hace más eficiente el control de malezas.
- Favorece el ahorro de agua.
- Facilita las labores de cosecha.

La nivelación contribuirá a disminuir el tiempo de llenado de las pozas y a reducir las pérdidas de agua, con lo que se aumenta la superficie de cultivo.

Según el nivel de movimiento de suelo (volumen) se pueden clasificar 2 tipos de nivelación:

- Macro nivelación: es la nivelación donde existe un gran movimiento del terreno, lo que normalmente requiere de maquinaria pesada (bulldozer, motoniveladora, entre otras).

- Micro nivelación: corresponde a movimientos de tierra menores cortes y rellenos). Se logra una mayor precisión de los cortes y rellenos al incorporar equipos especializados de nivelación (palas niveladoras, traíllas, etc.), junto con el uso de la combinación de tecnología láser y la computación. Esto se conoce como controladores automáticos de profundidad de trabajos de precisión.

La precisión de la nivelación:

- Asegura una siembra y emergencia uniforme (primer paso para obtener un cultivo uniforme).
- Mejora la competencia del cultivo con las malezas.
- Permite una lámina de agua uniforme que mejora la calidad de las aplicaciones de agroquímicos.
- Permite mantener los niveles de agua adecuados para cada etapa de desarrollo del cultivo.
- Aumenta los rendimientos.
- Mejora la calidad a la cosecha al lograr una maduración uniforme.

2.2.10.2 Importancia del Agua para la producción de Arroz

La mayor parte de la producción de arroz en el mundo se realiza bajo inundación, y que los mejores rendimientos se obtienen con ese sistema de cultivo. Esto es así, porque la inundación bien controlada crea las condiciones ideales para el desarrollo del cultivo de arroz, y para que todos los insumos que se utilizan sean más eficientes pudiendo así aprovecharlos al máximo y obtener todos los kilos posibles de la planta de arroz.

Ventajas de la inundación

El agua tiene gran importancia en el cultivo de arroz. Además de ser un elemento fundamental para la vida de la planta, afecta a los productos que se usan para producir arroz (Fertilizantes y herbicidas), en el control de plagas, malezas y otras causas adversas como bajas temperaturas en periodos importantes como la floración y la aparición de algunas enfermedades.

El riego por inundación tiene efectos positivos sobre:

- **La Fertilización:** Si se maneja adecuadamente el agua, inundando los lotes en el momento oportuno, se logra aumentar la eficiencia de los fertilizantes aplicados hasta en un 70%. La inundación por un lado provoca cambios en el suelo que hacen que los nutrientes que ya están en él se vuelvan disponibles para que las plantas lo puedan absorber, y por el otro hace que los nutrientes que aplicamos con los fertilizantes estén rápidamente disponibles. Si el manejo del riego es sin secones, se evitan las pérdidas, principalmente del Nitrógeno aplicado como urea.
- **Control de Malezas:** Suele decirse que el agua es el mejor herbicida que hay, pero es importante hacer algunas aclaraciones sobre esto.

Muchas de las malezas que se encuentran en las arroceras tienen la misma capacidad que el arroz para vivir en suelos inundados; entonces difícilmente las podemos eliminarlas utilizando solo agua.

Lo que si es cierto es que la mayoría de las malezas que se encuentran en las chacras no nacen abajo del agua, entonces una vez que se ha aplicado el herbicida para eliminar las plantas dañinas que había, deben inundarse los lotes lo más rápido posible (2 días después de aplicado el herbicida), para evitar que nazcan

malezas nuevas antes de entrar con el agua, lográndose así excelentes controles de malezas, ya que el producto actúa mucho mejor, mata a las que ya nacieron y si se entra rápido con agua, el agua no deja que nazcan nuevas malezas.

- **Macollaje:** la disponibilidad de agua favorece la generación de macollos en la planta de arroz, aunque hay que aclarar que cuando el arroz es pequeño (4-5 hojas), la lámina debe ser lo más baja posible.
- **Plagas y enfermedades:** cuando la lámina de riego es la adecuada (5-7 cm “que apenas tape el empeine de la bota”), Se disminuye el riesgo de enfermedades como piricularia y podredumbre de los tallos). Al mismo tiempo, si se mantiene la lámina de riego adecuada disminuye la incidencia de las algunas plagas como orugas y algunos tipos de cascarudos, chinche y gorgojo acuático.
- **El rendimiento:** en definitiva, al afectar el normal desarrollo de la planta de arroz; al afectar la disponibilidad y eficiencia de los fertilizantes y la eficacia de los herbicidas, la principal ventaja del riego por inundación es que si se maneja en forma adecuada permite aumentar el rendimiento del cultivo de arroz.

Desventajas de la inundación

Así como el buen manejo del agua favorece a la planta de arroz, su manejo en forma inadecuada puede perjudicar el rendimiento, afectando principalmente:

- **Los Nacimientos:** Como se había mencionado la mayoría de las semillas no pueden nacer debajo del agua, el arroz tampoco. Por eso es tan importante mantener en buen estado los drenajes de los lotes ya que, si ocurren inundaciones luego de la siembra y antes de que nazcan las semillas, puede ocurrir que muchas de ellas mueran y verse afectada la cantidad de plantas en el lote, y por lo tanto peligrar el rendimiento.

- **El Macollaje:** Láminas de riego altas perjudican el macollaje, ya que cuando la planta es pequeña y se la cubre con una lámina de riego muy alta, en la lucha por sobrevivir, trata de alargar los macollos que ya se han formado en vez de terminar de generar los que todavía le faltan. El resultado de esto es una planta flaca y larga con nada más que 2 o 3 macollos por planta.
- **El Vuelco:** Como ya se dijo, cuando la lámina es muy alta, la planta busca “estirarse” para no quedar debajo del agua, entonces los tallos quedan largos, flacos y débiles, con mucho riesgo de enfermarse y volcarse perdiéndose así gran parte de la producción.
- **Las plagas y enfermedades:** Láminas de riego altas favorecen la presencia de enfermedades al “estirarse” los tallos y volverse más débiles. Y además se crean las condiciones que favorecen a algunas plagas como los gorgojos (Bichera).
- **El rendimiento:** en definitiva, si la lámina de riego no es la adecuada, se puede afectar el normal desarrollo de la planta de arroz, y al mismo tiempo crear condiciones para que aparezcan plagas y enfermedades y por lo tanto afectar el rendimiento del cultivo de arroz.

2.2.10.3 Sistema de Conducción y distribución de Agua en la arrocería

El sistema de conducción, distribución, y desagüe, de las arroceras puede resumirse en los siguientes componentes:

- **Fuente de agua:** El circuito de riego comienza en la fuente de agua; que puede ser una represa, el río, alguna laguna, o bien una perforación.
- **Instalaciones de bombeo:** Tienen la función de extraer el agua desde su origen, e impulsarla hacia las chacras a través de los canales.

- **Canales de riego:** son los caminos por los que se conduce y distribuye el agua hasta cada uno de los lotes a regar. Es aconsejable que se construyan acompañando las zonas más altas del terreno. Tenemos los siguientes tipos:
 - ✓ Canal Principal, es el primer canal por donde viene el agua desde la fuente, suele ser el más grande.
 - ✓ Canales secundarios, son una derivación del primario, y suelen ser más pequeños que el Primario.
 - ✓ Canales Terciarios, que son derivaciones del Secundario y son los que distribuyen el agua dentro de los cuadros.
 - ✓ Muchas veces se agregan otros canales mucho más pequeños, que los anteriores llamados “regaderas o conductores”, que cumplen una doble función: por un lado, ayudan a distribuir el agua adentro de los cuadros o lotes simplificando la distribución del agua y mejorando notablemente la velocidad del riego; y por el otro dividen los cuadros evitando que queden canchas demasiado grandes que son difíciles de regar.
 - ✓ Bordos o camellones hechos con tierra y que cumplen la función de dividir los cuadros o lotes en espacios de Desnivel Controlado, es decir entre una Tapa y la siguiente, hay un desnivel que debe permitir mojar y mantener con una lámina de agua la totalidad del lote.
 - ✓ Desagües: Son los canales por los que escurre el agua que debe salir de la chacra. Generalmente debe estar localizados en las partes más bajas del terreno.

Es cierto que la experiencia y habilidad del aguador es la que le permite decidir por donde conducir el agua en cada uno de los cuadros; pero como regla general es

recomendable “llevar” el agua por las partes más altas de los cuadros, y una vez que éstas se completaron con agua, regar por desnivel las otras zonas (el agua siempre busca ir hacia las partes más bajas).

También es importante, mantener en buenas condiciones el sistema de canales y conductores, libres filtraciones y fundamentalmente, lo más “limpios” posibles. Canales muy sucios, ya sea con mucho sedimento y bien con malezas, disminuyen notablemente su eficiencia, bajando la velocidad del riego.

2.2.10.4 Necesidades de riego.

Se refiere a la cantidad de agua y al momento de su aplicación, a fin de compensar el déficit de humedad del suelo durante un periodo vegetativo. El arroz necesita agua para la evapotranspiración, la infiltración y la percolación, al igual que para prácticas de manejo como la preparación del terreno y el drenaje

Se determina utilizando la evapotranspiración del cultivo en consideración (ET_c) menos el agua aportada por las precipitaciones.

Cuando la precipitación efectiva es mayor que las necesidades de riego, la demanda o riego bruto es igual a cero (0).

En caso contrario, cuando la precipitación efectiva es menor al uso consuntivo del cultivo, la demanda se define por la diferencia entre la ET_c y el agua que se aporta por precipitación.

2.2.10.5 Evapotranspiración

Representa la suma de la transpiración y la evaporación. Por el proceso de transpiración, el agua absorbida por las raíces de las plantas es emitida por las hojas en forma de vapor de agua y reintegrada a la atmósfera. La evaporación representa el agua evaporada de la superficie del suelo y del follaje.

Para fines prácticos a nuestro proyecto, se considera una pérdida diaria de un milímetro de agua, equivalente a 10 m³ por día, en un área de una hectárea.

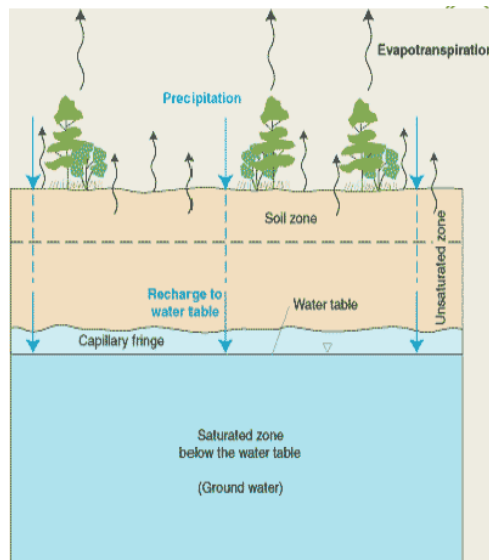


Figura 21 Evapotranspiración

2.2.11. Bombeo de Agua

El bombeo de agua tiene una larga historia; Se han desarrollado muchos métodos para bombear agua. La humanidad ha usado una variedad de fuentes energéticas, a saber, energía humana, fuerza de los animales, energía hidráulica, eólica, solar y combustibles como Diésel para pequeños generadores.

Las bombas más comúnmente utilizadas en áreas remotas son:

- Bombas de mano
- Bombas de pozo accionadas directamente por Diésel
- Bombas eléctricas sumergibles acopladas a un generador de Diésel
- Bombas solares sumergibles

Las ventajas e inconvenientes de los distintos métodos de bombeo se exponen en la Tabla a continuación:

	Ventajas	Inconvenientes
Bombas de mano	<ul style="list-style-type: none"> • Es posible su fabricación local • fácil de mantener • bajo coste • no coste de combustible 	<ul style="list-style-type: none"> • Pérdida de productividad humana • Frecuente uso ineficiente de los pozos • Pequeños caudales de flujo
Bombas accionadas mediante animales	<ul style="list-style-type: none"> • Más potentes que las humanas • Menor salario que la potencia humana • El estiércol se puede usar como combustible para cocinar 	<ul style="list-style-type: none"> • Los animales requieren ser alimentados durante todo el año • Con frecuencia se destinan a otras actividades en los períodos cruciales de regadío
Bombas hidráulicas	<ul style="list-style-type: none"> • Operación desatendida • No coste de combustible • Fácil mantenimiento • Bajo coste • Larga vida útil • Alta fiabilidad 	<ul style="list-style-type: none"> • Requieren condiciones de ubicación específicas • Bajo rendimiento
Bombas eólicas	<ul style="list-style-type: none"> • Operación desatendida • Fácil mantenimiento • Larga vida útil • Se pueden fabricar de forma local • No requieren combustibles 	<ul style="list-style-type: none"> • Se requiere almacenar agua para períodos con poco viento • Necesidades de un buen plan de diseño y planificación del proyecto • No son fáciles de instalar
Solar fotovoltaica	<ul style="list-style-type: none"> • Operación desatendida • No coste de combustible • Bajo mantenimiento • Fácil instalación • Larga vida útil (20 años) 	<ul style="list-style-type: none"> • Elevado coste de equipo • Requiere almacenamiento de agua para períodos nublados • Con frecuencia las reparaciones requieren técnicos entrenados
Bombas de Diésel y gasolina	<ul style="list-style-type: none"> • Rápido y fácil mantenimiento • Bajo coste de capital • Ampliamente utilizadas • Pueden ser portátiles 	<ul style="list-style-type: none"> • Suministro de combustible errático y de coste elevado • Elevado coste de mantenimiento • Corta vida útil • Contaminación por ruido y humo

Una de las grandes aplicaciones de la energía solar fotovoltaica es el bombeo. En un sistema de bombeo fotovoltaico se transforma la energía eléctrica suministrada por un generador (panel solar fotovoltaico) en energía hidráulica (un volumen de agua es elevado a una cierta altura). Las principales aplicaciones del bombeo fotovoltaico son el riego y el abastecimiento de agua en zonas rurales.

En el riego las necesidades de agua se clasifican dependiendo del tipo de cultivo que se pretende regar y de la estacionalidad (mucha agua en verano y nada en invierno), obteniendo con este sistema buenos rendimientos, ya que cuando más agua se necesita (verano) es cuando más energía generan los paneles solares fotovoltaicos.

El abastecimiento de agua en las zonas rurales se caracteriza, sin embargo, por una demanda constante (diaria) para todo el año. En este caso el rendimiento es bueno en verano y malo en invierno, ya que el número de horas solares varía mucho de una estación a otra y el bombeo del agua puede reducirse a la mitad.

2.2.11.1 Descripción y conexión de los elementos que forman el sistema de bombeo

Los componentes que forman el sistema de bombeo son:

- Generador fotovoltaico
- Grupo motor-bomba.
- Convertidor de acoplamiento entre el generador FV y el Electrobomba.
- Acumulación y distribución del agua o simplemente distribución.

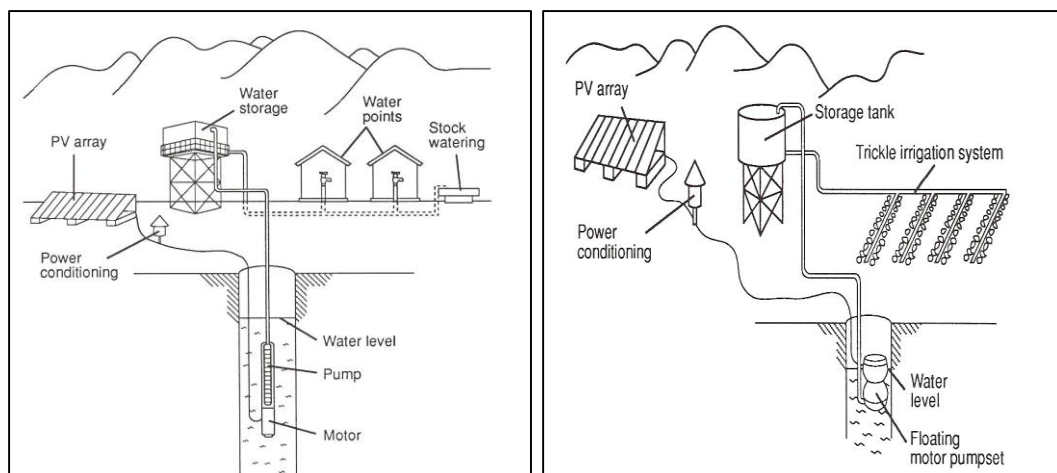


Figura 22 Principales componentes de un sistema de bombeo de agua fotovoltaico.

2.2.11.2 Generador fotovoltaico Descripción

Es un módulo o grupo de módulos FV, conectados en serie, paralelo o mixto, que transforman la energía solar en energía eléctrica. El generador FV puede trabajar en cualquier punto de la curva I-V, ya que el punto de funcionamiento depende de la carga eléctrica (motor-bomba). Lo más importante que tenemos que conseguir es que dicho punto de funcionamiento esté lo más próximo posible de P_{max} .

A continuación, se describe cómo afecta la radiación y la temperatura a la curva I-V:

- La intensidad de cortocircuito I_{sc} aumenta proporcionalmente con la radiación, y como consecuencia aumenta la P_{max} (potencia máxima) del generador FV, deduciendo así la gran influencia de la radiación en la generación FV.
- Al aumentar la temperatura, disminuye el voltaje de circuito abierto, V_{OC} , y como consecuencia la P_{max} (potencia máxima) disminuye con la temperatura, deduciendo así que la temperatura afecta de forma negativa a la generación FV.

2.2.11.3 Grupo motor-bomba

Según la disposición del motor-bomba en la instalación, éste se puede clasificar en:

- ✓ Sumergible
- ✓ Flotante
- ✓ Superficial

El motor-bomba es un conjunto formado por:

Motor

Es una máquina que transforma la energía eléctrica del generador FV en energía mecánica. La potencia que puede desarrollar este motor es proporcional al par motor

y a su velocidad. El par motor depende de la resistencia de la carga, y su velocidad de giro varía con el voltaje e intensidad de funcionamiento que le suministra el generador FV.

Bomba

Es una máquina que transforma la energía mecánica del motor en energía hidráulica. Hay dos tipos de bombas según el sistema de impulsión: las bombas de desplazamiento positivo o volumétrica sumergible y las bombas dinámicas o de intercambio de cantidad de movimiento.

En las bombas de desplazamiento positivo, el par necesario de bombeo depende principalmente de la altura de bombeo y no de la velocidad. En esta situación el motor necesita un cierto umbral de corriente para proporcionar el par necesario para mantener en funcionamiento la bomba. Así, la velocidad de bombeo viene determinada por el voltaje disponible en el generador FV. También el volumen de agua bombeada (caudal) crece con el aumento de su velocidad de rotación y es, por tanto, directamente proporcional a la irradiancia incidente en el generador FV.

La característica par-velocidad de estas bombas no las hace adecuadas para funcionar directamente conectadas a un generador FV, ya que necesita un par prácticamente constante para su funcionamiento, y este par constante necesita a su vez una corriente constante, lo que no ocurre en los generadores FV, donde la corriente es directamente proporcional a la irradiancia. Por otro lado, si el par de funcionamiento coincide con la corriente del generador FV cerca del punto de máxima potencia (P_{max}), una pequeña reducción de la irradiancia tendrá como resultado una corriente insuficiente para mantener la velocidad de bombeo, y el motor-bomba disminuirá el caudal bombeado hasta que requiera menor corriente. Cuando la corriente suministrada por

el generador FV desciende de un nivel crítico, el motor-bomba dejará de bombear, deteniéndose.

Otro problema de las bombas conectadas directamente a un generador FV es el elevado par de arranque que necesitan. Por el contrario, tienen la ventaja de tener rendimientos altos para la elevación del agua a alturas superiores a 20 metros y son prácticamente insensibles a las variaciones de la altura.

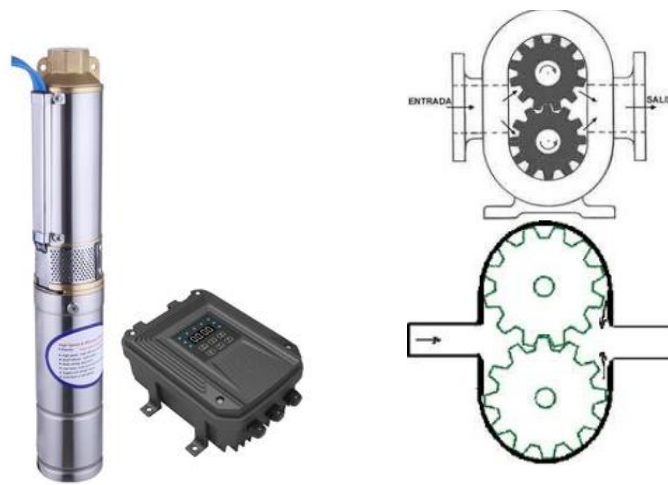


Figura 23 Bomba solar de tornillo de desplazamiento positivo para agua.

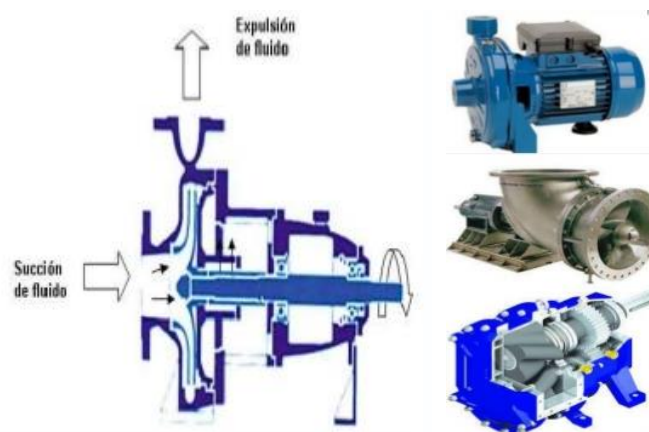


Figura 24 Bombas dinámicas o de intercambio de cantidad de movimiento

Bombas sumergibles

Con frecuencia con controladores de carga electrónicos. La bomba estará sumergida mientras que el controlador de carga está en la superficie.

Las ventajas de esta configuración son su fácil instalación, con frecuencia con tuberías flexibles y el impulsor sumergido lejos de daños potenciales.

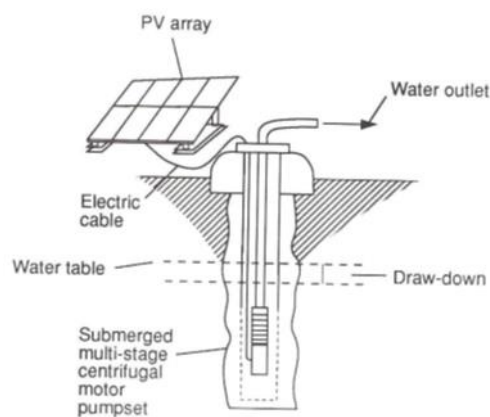


Figura 25 Configuración con bomba centrífuga multi-fase sumergible.

Bombas sumergibles con motor montado en la superficie

La principal ventaja es el fácil acceso al motor para su mantenimiento. Sus desventajas son la baja eficiencia debido a la pérdida de potencia en el eje de rodamiento y el alto coste de instalación. En general esta configuración está siendo ampliamente sustituida por los de motor e impulsor sumergibles.

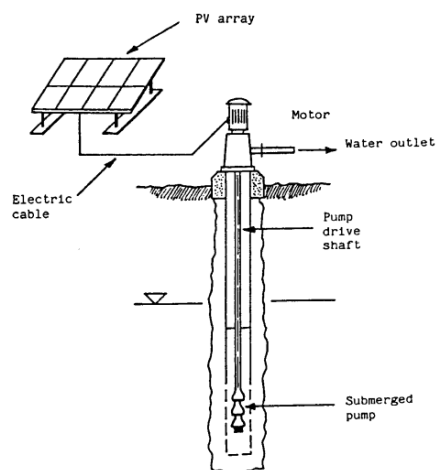


Figura 26 Bomba sumergible con motor montado en la superficie.

2.2.11.4 Convertidor de acoplamiento entre el generador fotovoltaico y el motor-bomba

Para que la transferencia de energía sea mínima, la carga eléctrica debe ser tal que su propia característica I-V intercepte a la del generador FV tan cerca del punto de máxima potencia como sea posible.

El punto de funcionamiento (punto de trabajo) del generador FV es el punto de corte con la curva de la carga eléctrica (puntos A y B), y aunque el empleo del convertidor de acoplamiento no es necesario para el bombeo fotovoltaico, se obtiene mejor rendimiento y mayor caudal bombeado en el caso B (con convertidor de acoplamiento) que en el caso A (sin convertidor de acoplamiento), ya que el punto de trabajo está más cerca del punto de máxima potencia, como podemos ver en la gráfica de la figura 24.

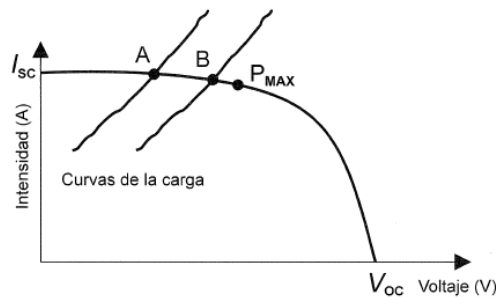


Figura 27 Puntos de funcionamiento con convertidor de acoplamiento (B) y sin éste (A).

El papel del convertidor de acoplamiento es proporcionar al motor-bomba la combinación más adecuada de I-V, a la vez que asegurar que el generador FV opera en su punto de máxima potencia. Los convertidores de acoplamiento no son verdaderos seguidores del punto de máxima potencia, sino que trabajan en un entorno de tensión próximo a dicho punto.

El convertidor de acoplamiento consiste en un dispositivo de acoplo de impedancia (una especie de varistor) que lo que hace es reducir el voltaje de salida a costa de aumentar su intensidad de salida.

Las bombas de desplazamiento positivo necesitan una potencia mínima de arranque para comenzar su funcionamiento, la cual viene determinada por el pico de arranque de las mismas.

Estos picos de arranque necesitan unos umbrales de irradiancia por debajo de los cuales, no se bombea agua. Dichos umbrales de irradiancia se sitúan normalmente en torno a los 200 W/m^2 - 400 W/m^2 , y en aquellos momentos del día en los que la irradiancia no supere este umbral, no se bombeará agua.

En los días nublados o parcialmente nublados pueden producirse picos de variación de radiación en los que se baja hasta una irradiancia inferior al umbral de funcionamiento de la bomba, con lo que dicha bomba no es capaz de suministrar agua y se para. En el caso de un día completamente despejado, una vez que se alcance por la mañana el umbral de irradiancia, se empieza a bombear agua hasta que de nuevo por la tarde se desciende de dicho umbral y se detiene.

Las paradas y puestas en marcha de la bomba influyen en el rendimiento del sistema y en la vida de la bomba. Cuando la irradiancia disminuye, la corriente generada por el generador FV proporcionalmente, mientras que el voltaje en el punto de máxima potencia permanece aproximadamente constante. Sin embargo, en el motor-bomba,

cuando la corriente disminuye, el voltaje también disminuye, operando el sistema generador-motor-bomba cada vez más alejado del punto de máxima potencia (P_{max}).

Como los altos pares de arranque necesitan corrientes que en general no pueden ser suministrados por los módulos FV, estos convertidores de acoplamiento se utilizan para producir elevadas corrientes de arranque. A estos convertidores de acoplamiento también se les llama seguidores del punto de máxima potencia.

Controladores

Los controles electrónicos pueden mejorar el rendimiento de un sistema de bombeo solar, bien diseñado, del 10 al 15%. Los controles se usan con frecuencia en áreas con niveles de agua y/o condiciones atmosféricas fluctuantes. Los controles electrónicos consumen del 4 al 7% de la energía generada por el arreglo. Es común que las bombas FV se vendan junto con el controlador adecuado para operarlas eficientemente. Generalmente se usan controladores de potencia máxima (los cuales operan el arreglo cerca de su punto de potencia pico)

2.2.11.5 Cálculos previos para la elección de un sistema de bombeo fotovoltaico

Los principales factores que determinan la configuración de un sistema de bombeo fotovoltaico son:

- Las situaciones hidráulicas:
 - La profundidad del nivel del agua en el pozo bajo la superficie.
 - La elevación del agua desde el pozo hasta el punto de utilización o de almacenamiento (altura estática).
 - Las pérdidas de presión en las tuberías y accesorios (altura dinámica).

- La radiación solar y condiciones climatológicas:
 - La energía suministrada por el panel solar FV a lo largo del día dependerá de estos factores determinantes.

Una vez analizados todos estos factores, tenemos que elegir la configuración del sistema de bombeo FV que mejor nos convenga. Para nuestro ensayo los cálculos serán los descritos en los siguientes apartados.

2.2.11.6 Cálculo de la altura total de bombeo

Para el cálculo de la altura total h a la que tenemos que bombear el agua necesitamos conocer la altura estática y la altura dinámica.

La altura estática o geométrica es la distancia desde el nivel mínimo del agua del pozo hasta el punto más elevado al cual debe de bombearse el agua (Hg).

La altura dinámica es el valor de la caída de presión (pérdidas de carga) cuando un líquido circula por el interior de una tubería (Hd). Estas pérdidas de carga dependen de la longitud de las tuberías, de su diámetro interior y del coeficiente de rozamiento, el cual depende a su vez de la rugosidad interna de la tubería y de las características de la circulación del agua, pudiendo ser un régimen laminar o turbulento.

Cuando en un sistema de tuberías haya otro tipo de accesorios (codos, válvulas, reducciones, derivaciones, grifos, etc.), la pérdida de carga de estos elementos se calcula pasando cada uno de ellos a longitud de tubería equivalente (mediante tablas que podemos encontrar en diversas publicaciones) y luego sumaremos esta longitud

equivalente a la longitud real de la tubería en el circuito. Se suele recomendar que la altura dinámica de un circuito no supere el 10% de la altura estática.

Por ejemplo, se asume la altura geométrica de 5,4 metros y consideramos unas pérdidas de carga del 10% (0,54 metros), siendo entonces la altura total:

$$h = H_g + H_d = 5,4 + 0,54 = 5,94 \sim 6 \text{ m}$$

Para unir el motor-bomba con el depósito de acumulación, para una altura de 6 m y un caudal de 435 litros, utilizamos tubería PVC de 18 mm de diámetro exterior. Esta tubería de cobre, sacada de las tablas que relacionan el diámetro de las tuberías, la velocidad del agua, la pérdida de carga y el caudal (que podemos encontrar en diversas publicaciones), nos garantiza un régimen laminar.

2.2.11.7 Cálculo del generador fotovoltaico

El motor debe ser capaz de soportar la potencia pico del generador FV, y su potencia eléctrica de entrada debe ser al menos la de este último. Así pues, el número de módulos FV conectados en serie y en paralelo debe adaptarse a las limitaciones de corriente y voltaje del motor, procurando acoplar bien ambos elementos para optimizar las relaciones de máxima potencia. La inclinación de los paneles FV se describe en las conclusiones de esta práctica.

Por ejemplo, el motor es de 24 V/120 W y cada módulo FV es de 12 V/60 W.

Nº de paneles FV en serie =

= Voltaje nominal del motor/Voltaje nominal de un panel FV

= 24 V/12 V = 2

Nº de paneles FV en paralelo =

= Potencia pico del motor / (Nº de paneles FV en serie * Potencia pico de panel FV)

$$= 120\text{W} / (2*60) \text{ W} = 1$$

De los resultados obtenidos, se emplearán 2 módulos en serie para alimentar al motor.

2.2.11.8 Cálculo del motor-bomba

Para calcular la energía hidráulica necesaria para desplazar un volumen de agua V (en nuestro caso 500 litros) hasta una altura h (en nuestro caso 6 metros), se utiliza la siguiente fórmula:

$$E = \delta g h V = 1 * 9,8 * 6 * 500 = 29\,400 \text{ J}$$

Donde:

δ = Densidad en kg/dm³ (El agua es aproximadamente igual a la unidad).

g = Aceleración de la gravedad (9,8 m/s²).

H = Altura a la que se quiere bombear el líquido, en metros.

V = Volumen de agua a bombear, en litros.

Si dividimos este resultado entre el número de horas en las que queremos bombear el volumen V (en nuestro caso 1 hora o 3600 segundos), obtenemos la potencia del motor en vatios.

Esta potencia la dividimos entre el rendimiento del motor-bomba y obtenemos la potencia total del motor. Para nuestro motor suponemos un rendimiento del 60%.

$$P = E / t = 29400 \text{ J} / 3600\text{s} = 8,16 \text{ W}$$

$$P_t = P / \eta = 8,16 / 0,6 = 13,6 \text{ W}$$

Como vemos en los resultados, con estos datos necesitamos un motor de 15 W para bombear 500 litros en una hora a una altura de 6 metros. El motor-bomba a utilizar tiene 120 W y nos permitirá bombear el mismo caudal hasta alturas de 70 metros.

2.3. Definición conceptual de la terminología empleada.

Abatimiento: Falta o pérdida de fuerza o energía. Inclinación o giro de algo que estaba vertical.

Celdas fotovoltaicas: Una celda fotovoltaica tiene como función primordial convertir la energía captada por el sol en electricidad a un nivel atómico.

Evaporación: Transformación de un líquido en vapor o gas.

Hidráulica: Parte de la mecánica que estudia las propiedades mecánicas de los líquidos. Rama de la ingeniería que estudia la manera de conducir y aprovechar las aguas.

Homogeneidad: Igualdad o semejanza en la naturaleza o el género de varios elementos. Uniformidad en la composición y la estructura de una sustancia o mezcla.

Humedad: Presencia de agua u otro líquido en el ambiente. Agua de que está impregnada un cuerpo o que, vaporizada se mezcla con el aire.

Insolación: Es la cantidad de energía en forma de radiación solar que llega a un lugar de la Tierra en un día concreto (insolación diurna) o en un año (insolación anual).

Irradiancia: Es la magnitud utilizada para describir la potencia incidente por unidad de superficie de todo tipo de radiación electromagnética.

Latitud: Distancia desde un punto de la superficie terrestre al Ecuador, contada por los grados de su meridiano.

Meteorología: Ciencia que estudia los fenómenos atmosféricos, las propiedades de la atmósfera, y en especial su relación con el tiempo atmosférico y la superficie de la tierra y mares.

Pluvial: Fluvial en la que la mayor parte del caudal procede de las aguas de la lluvia.

Viscosidad: Es la oposición de un fluido a las deformaciones tangenciales. Un fluido que no tiene viscosidad se llama fluido ideal. En realidad, todos los fluidos conocidos presentan algo de viscosidad, siendo el modelo de viscosidad nula una aproximación bastante buena para ciertas aplicaciones.

Carga: Cualquier dispositivo o aparato que demanda potencia. Esta depende de cada aparato y varía durante el día de acuerdo a la manera en que ésta opera.

Celda solar o celda fotovoltaica: Elemento que transforma la luz solar (fotones) en electricidad. Es el insumo fundamental de los módulos solares fotovoltaicos.

Celdas de película delgada: Celdas fabricadas de películas del orden de los micrones de material sensible a la radiación solar.

Condiciones de prueba estándar: Condiciones en las cuales se prueban los módulos fotovoltaicos en laboratorio (1 kWh/m² de radiación solar, 25°C de temperatura de la celda solar y espectro solar correspondiente a una masa de aire de 1,5)

Conexión en paralelo: Método de conexión en el cual todos los bornes positivos y negativos se juntan. Si los módulos son todos iguales, la corriente se suma y la tensión permanece igual.

Conexión en serie: Método de conexión en el cual el borne positivo de un módulo se conecta al borne negativo del siguiente y así sucesivamente. Si los módulos son todos iguales, el voltaje se suma y la corriente permanece igual.

Consumo eléctrico: Número de Watts hora (Wh) o Kilowatts hora (kWh) utilizados para que funcione un aparato eléctrico durante un tiempo. Depende de la potencia del aparato y del tiempo que esté funcionando.

Corriente alterna: En la corriente alterna (CA o AC, en inglés) los electrones, a partir de su posición fija en el cable (centro), oscilan de un lado al otro de su centro, dentro de un mismo entorno o amplitud, a una frecuencia determinada (número de oscilaciones por segundo)

Corriente continua: La corriente continua (CC o DC, en inglés) se genera a partir de un flujo continuo de electrones (cargas negativas) siempre en el mismo sentido, el cual va desde el polo negativo de la fuente al polo positivo. Al desplazarse en este sentido los electrones, los huecos o ausencias de electrones (cargas positivas) lo hacen en sentido contrario, es decir, desde el polo positivo al negativo.

Corriente de corto circuito: Corriente que se mide en condiciones de corto circuito en los terminales de un módulo.

Corriente de máxima potencia: Corriente correspondiente al punto de máxima potencia.

Cortocircuito: Conexión accidental de dos conductores de distinta fase, o de éstos con el neutro.

Horas de sol pico: Número equivalente de horas a 1 kWh/m^2 de radiación solar que produce la misma cantidad de energía solar que bajo las condiciones reales de insolación.

Instalación eléctrica: Conjunto de aparatos y de circuitos asociados, en previsión de un fin particular: producción, conversión, transformación, transmisión, distribución o utilización de la energía eléctrica.

Intensidad eléctrica: Magnitud eléctrica definida como la cantidad de electricidad que pasa a través de la sección de un cable conductor en un segundo. Se mide en Amperios (A)

NOCT (Nominal Operation Cell Temperature): Es la temperatura que alcanza la celda cuando ésta se expone a 800 W/m^2 de radiación en un ambiente con aire a 20°C de temperatura y circulando a una velocidad de 1 m/s , cuando la celda está en circuito abierto.

Voltaje de circuito abierto: Voltaje que se mide en los terminales sin carga de un sistema fotovoltaico.

Voltaje de máxima potencia: Voltaje correspondiente al punto de máxima potencia.

Watt pico: Unidad de medida de un módulo solar fotovoltaico, que significa la cantidad de potencia máxima que puede generar el módulo a condiciones estándar de funcionamiento (1000 W/m^2 , 25°C y $1,5$ de masa de aire)

Célula solar o fotovoltaica. Dispositivo que transforma la energía solar en energía eléctrica

CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo y diseño de investigación

El tipo de investigación es aplicada debido a que haremos uso de la teoría sobre sistemas fotovoltaicos y sistemas de bombeo de agua para proponer una alternativa que permita ser implementado solucionar la realidad problemática en el fundo Manto de Cristo.

El diseño de la investigación es no experimental no se van a manipular las variables.

3.2. Hipótesis

“Es viable técnica y económicamente un sistema de bombeo usando energía solar para riego agrícola de cultivos en el Predio Los Rojas ubicado en el distrito de Yuracyacu provincia de Rioja departamento de San Martín”.

3.3. Población y muestra

Población: Predio los Rojas ubicado en el distrito de Yuracyacu provincia de Rioja perteneciente al departamento de San Martín.

Muestra: Predio los Rojas ubicado en el distrito de Yuracyacu provincia de Rioja perteneciente al departamento de San Martín.

3.4. Variables

3.4.1 Variable Independiente

Propuesta de Diseño e Implementación, de un sistema de bombeo de agua con energía eléctrica proveniente de un sistema fotovoltaico autónomo.

3.4.2 Variable Dependiente

Mejora técnica – económica del riego para el cultivo de arroz.

3.4.3 Operacionalización de Variables

OPERACIÓN DE VARIABLES INDEPENDIENTES

Variables	Dimensión	Indicadores	Técnica e instrumentos
Propuesta de Diseño e Implementación, de un sistema de bombeo de agua con energía eléctrica proveniente de un sistema fotovoltaico autónomo.	Recolección de datos	<ul style="list-style-type: none"> - Condiciones meteorológicas y geográficas de la zona del proyecto que influyan en el suministro de agua y selección de electrobomba solar. - Ubicación georreferenciada del predio. - Altura promedio de la lámina de agua, en la etapa de cultivo que requiere el mayor abastecimiento de agua. 	<ul style="list-style-type: none"> - Observaciones directas. - Entrevistas. - Encuestas. - Equipo GPS. - Registro fotográfico. - Revisar información de páginas web de meteorología.
	Evaluación de datos	<ul style="list-style-type: none"> - Validación de datos obtenidos. - Invalidación de datos obtenidos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Revisión y evaluación de datos recolectados.
	Procesamiento de los datos	<ul style="list-style-type: none"> - Definir la etapa de cultivo del cultivo de arroz, que requiere de mayor demanda de agua. - Definir las horas pico solares (HPS), según la ubicación georreferenciada de la zona proyecto, - Características técnicas del sistema de bombeo de agua accionado con energía solar. - Energía calculada que deberá abastecer el generador solar. - Presupuesto referencial del sistema de bombeo propuesto. 	<ul style="list-style-type: none"> - Páginas web de meteorología. - Programa RET Screen Expert. - Hoja de cálculo. - Revisión de catálogos de fabricantes de sistemas fotovoltaicos y equipos de bombeo.
	Análisis e interpretación	<ul style="list-style-type: none"> - Resultados del Análisis técnico económico de implementarse este tipo de sistema de bombeo propuesto, para riego de cultivo de arroz. 	<ul style="list-style-type: none"> - Hoja de cálculo. - Revisión de resultados obtenidos.

OPERACIÓN DE VARIABLES DEPENDIENTES

Variables	Dimensión	Indicadores	Técnica e instrumentos
Mejora técnica – económica del riego para el cultivo de arroz.	Mejora Técnica	<ul style="list-style-type: none"> - Sistemas fotovoltaicos y equipos de bombeo con mejores prestaciones. - Requerimiento de mantenimiento de equipos, reducido al mínimo. 	<ul style="list-style-type: none"> - Revisión de catálogos de fabricantes de sistemas fotovoltaicos y equipos de bombeo con mejores prestaciones actualizadas. - Entrevistas directas.
	Mejora Económica	<ul style="list-style-type: none"> - Eliminación de gastos por consumo de combustible y lubricantes. - Reducción en los gastos de mantenimiento para equipos de bombeo. - Reducción en los gastos de operatividad diaria de los equipos de bombeo. - Análisis costo/beneficio favorable, a partir de determinada área de terreno a beneficiar. 	<ul style="list-style-type: none"> - Entrevistas directas. - Encuestas. - Hoja de cálculo con evaluación VAN, TIR y C/B.

Técnicas

a) Entrevista

Se realizaron entrevistas a los propietarios de fundos y/o terrenos aledaños a la zona del proyecto. Las interrogantes más recurrentes en las entrevistas realizadas, se trataron sobre información del número de hectáreas que poseen, costo de mantenimiento y operación del sistema de bombeo que utilizan actualmente, gastos realizados durante todos los periodos de cultivo de arroz y precio de venta de arroz más favorable que pudiera presentarse.

b) Encuesta

A fin de contar con un registro de la información obtenida durante las entrevistas, se procedió al desarrollo de encuestas.

c) Inspección de campo y toma de datos IN SITU

Como parte de la investigación realizada, se desarrolló la inspección de campo a la zona del proyecto, pudiendo observar el equipamiento de bombeo convencional que permite el suministro de agua en todas las etapas del cultivo de arroz; asimismo, las condiciones geográficas que presenta el Predio Los Rojas

Instrumentos

a) Entrevista

Se realizaron de forma presencial y personalizada, se plantearon preguntas claras y sencillas, con las cuales se pudo recabar información de primera fuente; asimismo, se atendieron las consultas o inquietudes de los entrevistados.

b) Encuesta

Documento de registro de la información obtenida durante las entrevistas, compuesta por preguntas sencillas y de carácter general.

c) Inspección de campo y toma de datos IN SITU

La inspección visual de campo permitió verificar las condiciones reales que presenta el Predio Los Rojas, durante la inspección, se realizó el registro fotográfico respectivo, así como la toma de datos con GPS de la ubicación georreferenciada del predio Los Rojas.

3.5. Análisis Estadístico e interpretación de los datos

Los Datos obtenidos durante la Inspección de campo en la zona del proyecto, fueron procesados teniendo en cuenta que la mayoría provenían de primera fuente.

Uno de los datos más importantes, fue determinar la etapa del cultivo de arroz que requiere de mayor cantidad de agua, determinando, que la etapa de siembra, es la etapa que requiere de mayor demanda de agua. Luego se determinó la altura de lámina de agua promedio que se requiere para esa etapa, a fin de determinar el volumen de agua que se necesita.

Con la información obtenida con el GPS de la posición georreferencia de la zona del proyecto, se obtuvieron las coordenadas exactas de su ubicación y localización, que facilitó el cálculo del dimensionado del SFV, es necesario obtener datos de Irradiación Solar media diaria horizontal, para ello se empleó el programa RET SCREEN PLUS que utiliza información obtenida y procesada por la NASA.

CAPITULO IV: PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN

4.1. Descripción del sistema propuesto

Durante el desarrollo de esta investigación, se tomaron en cuenta factores técnicos y económicos para confirmar la viabilidad de este proyecto de bombeo de agua con energía eléctrica proveniente de un sistema fotovoltaico autónomo. Inicialmente se procedió a seleccionar el equipo de bombeo en función de datos encuestados y de observaciones de campo, luego de realizar el dimensionado del Sistema fotovoltaico Autónomo (SFVA) el cual comprender en cálculo y selección adecuada de sus componentes, para ello se realizó lo siguiente:

- Identificar la etapa de cultivo de arroz que requiere la mayor demanda de agua, dicha información se obtuvo de las encuestas y entrevistas realizadas en campo.
- Cuantificar la necesidad de riego, para la superficie de terreno del predio Los Rojas que presenta las condiciones apropiadas para el cultivo de arroz; para ello se realizó verificación del terreno, encuestas y entrevistas realizadas en campo.
- Seleccionar el equipo de bombeo acorde a las características de altura de carga y distancia desde la fuente de agua, hasta la parte del terreno que se tiene costumbre realizar el riego de agua.
- Seleccionar los componentes necesarios para el sistema fotovoltaico autónomo y del sistema de control de bombeo, en función de la potencia del equipo de bombeo y la irradiación solar de la zona. Cabe mencionar que la propuesta no considera el empleo de baterías solares, ya que el uso de este sistema se enfoca para uso matutino.
- Considerar obras civiles que complementen este proyecto, para que se pueda obtener un pre filtrado mecánico antes del riego.

Para calcular la Declinación Solar (δ) en un momento determinado del año, elegimos el día central de cada mes y aplicando la fórmula siguiente, obtendremos dichos valores:

$$\delta = 23,45^\circ * \sin\left(360 * \left(\frac{284 + \delta_n}{365}\right)\right)$$

Donde:

δ : Declinación en grados ($^\circ$)

δ_n : Día del año (Se puede tomar el 1, 2, 3, 4....., hasta el 365)

c) Cálculo de la Elevación Solar (γ)

La elevación solar es el ángulo de elevación del Sol, esto es, el ángulo entre la dirección del sol y el horizonte ideal. Toma valores que van desde:

Solsticio de verano $\gamma = 90^\circ - \varphi - \delta$

Solsticio de invierno $\gamma = 90^\circ - \varphi + \delta$

Equinoccio $\gamma = 90^\circ - \varphi$

Siendo:

γ : Elevación solar en grados ($^\circ$)

φ : Latitud en grados ($^\circ$)

δ : Declinación en grados ($^\circ$)

d) Cálculo de la inclinación óptima (δ)

Para que la superficie de los paneles reciba la radiación solar óptima, se tendrá que variar el ángulo de inclinación en el solsticio de verano, en el solsticio de invierno,

pasando por los equinoccios. Para el caso del hemisferio sur se consideran las siguientes declinaciones solares con correspondientes signos:

Solsticio de Verano, 22 de diciembre $\delta = -23.45^\circ$

Equinoccio de Otoño, 21 de marzo $\delta = 0^\circ$

Solsticio de Invierno, 21 de junio $\delta = 23.45^\circ$

Equinoccio de primavera, 23 de septiembre $\delta = 0^\circ$

Solsticio de verano $\beta = \varphi - \delta$

Solsticio de invierno $\beta = \varphi + \delta$

Equinoccios $\beta = \varphi$

Donde:

β : Inclinação optima en grados ($^\circ$)

φ : Latitud en grados ($^\circ$)

δ : Declinación en grados ($^\circ$)

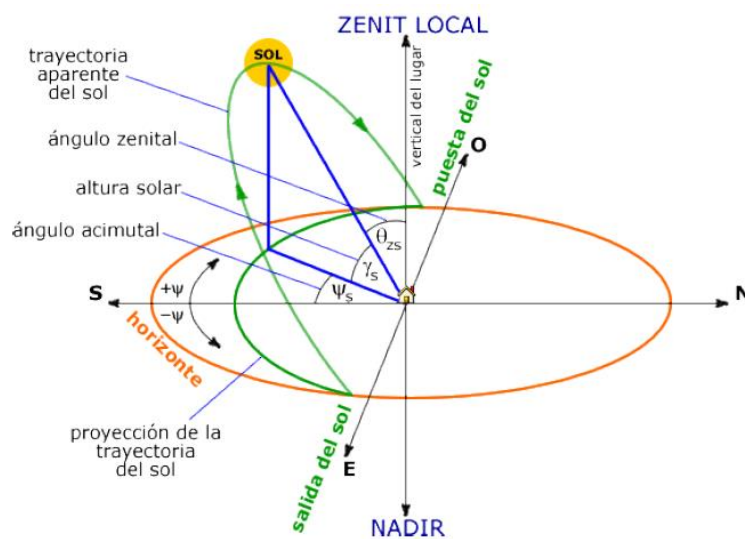


Figura 28 Trayectoria solar durante el día.

Para continuar con el cálculo del dimensionado del SFV, es necesario obtener datos de Irradiación Solar media diaria horizontal, para ello se empleó el programa RET SCREEN PLUS que utiliza información obtenida y procesada por la NASA.

Este programa de gestión energética determinó que los datos a usarse corresponderían a los registrados en la estación meteorológica ubicada en la provincia de Rioja, ya que esta estación es la más próxima a la zona del proyecto (13.41 km).

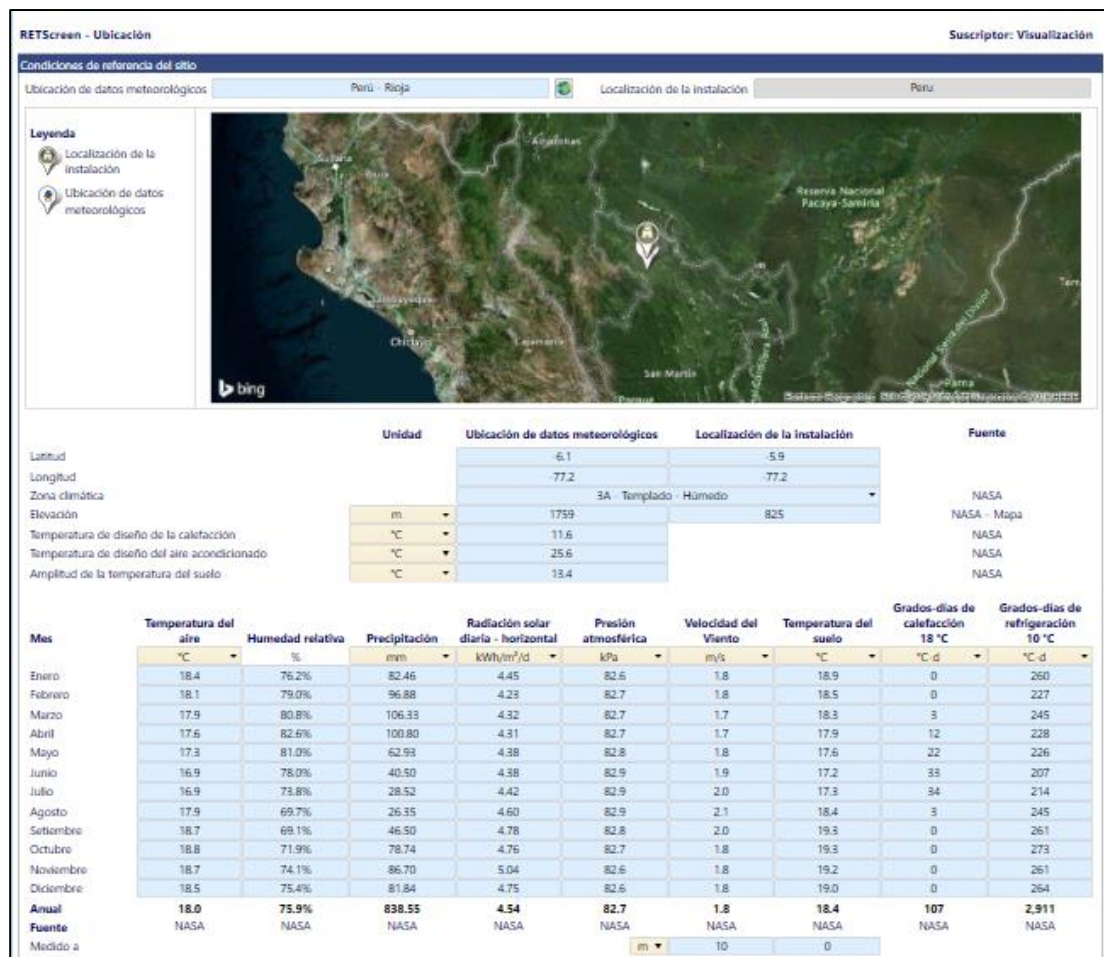


Figura 29 Ret Screen Plus (utiliza información obtenida y procesada por la NASA)

De la información obtenida con este programa se procedió a elaborar el Cuadro N°04, donde se aprecia los promedios mensuales de Irradiación Solar media diaria

horizontal, obtenidos de datos registrados entre los años 2015 a 2018 en la provincia de Rioja.

IRRADIACIÓN SOLAR Y TEMPERATURA MEDIA DIARIA												
TIPO / MES	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Horizontal (kWh/m ² /día)	4.45	4.23	4.32	4.31	4.38	4.38	4.42	4.60	4.78	4.76	5.04	4.75
Temperatura del Aire (°C)	19.5	18.8	19.0	18.4	18.1	17.6	17.3	18.3	19.6	20.6	20.5	19.9

Tabla 3 Irradiación solar

Según el criterio del mes crítico, el mes de febrero es el que presenta la irradiación solar media diaria menos favorable para nuestro proyecto, pero sus valores registrados servirán para el cálculo de la energía incidente sobre los paneles solares.

e) Cálculo de Irradiación Solar media diaria con inclinación óptima. $G_a(\beta_{opt})$

Para calcular la Irradiación Solar media diaria con inclinación óptima, debemos haber definido la Inclinación Óptima (β_{opt}) que más nos favorece.

$$G_a(\beta_{opt}) = \frac{G_a(0^\circ)}{1 - 4,46 * 10^{-4} * \beta_{opt} - 1,19 * 10^{-4} * \beta_{opt}^2}$$

Donde:

$G_a(\beta_{opt})$: Irradiación Solar media diaria con inclinación óptima. (kW h/m²/día)

$G_a(0^\circ)$: Irradiación Solar media diaria horizontal. (kW h/m²/día)

β_{opt} : Inclinación óptima en grados (°)

f) Cálculo del Factor de Irradiación

Siempre que sea posible se debe orientar la superficie de los paneles del SFV de forma óptima ($\alpha = 0^\circ$ y β_{opt}). Sin embargo, este requisito no siempre se puede cumplir, ya que influye sobre la optimización, la integración arquitectónica, la resistencia al viento, la acumulación de nieve, etc.

Para considerar estas pérdidas, debidas a la inclinación y orientación no óptimas, se aplica un coeficiente de reducción de la energía denominado factor de irradiación (FI).

$$FI = 1 - \left[1,2 * 10^{-4} * (\beta - \beta_{opt})^2 + 3,5 * 10^{-5} * \alpha^2 \right] \quad \text{Para } 15^\circ < \beta < 90^\circ$$

$$FI = 1 - \left[1,2 * 10^{-4} * (\beta - \beta_{opt})^2 \right] \quad \text{Para } \beta \leq 15^\circ$$

Donde:

FI : Factor de Irradiancia

β : Inclinación real de la superficie del panel ($^\circ$)

β_{opt} : Inclinación óptima de la superficie del panel ($^\circ$)

α : Acimut de la superficie del panel ($^\circ$)

g) Cálculo de Irradiación Solar media diaria con inclinación y acimut no óptimos. $G_a(a, \beta)$

La irradiación sobre la superficie con inclinación y acimut no óptimos se calcula multiplicando la Irradiación Solar media diaria con inclinación óptima por el factor de irradiación.

$$G_a(a, \beta) = FI * G_a(\beta_{opt})$$

Donde:

$G_a(a, \beta)$: Irradiación Solar media diaria en superficie con inclinación y acimut no óptimos. (kW h/m²/día)

$G_a(\beta_{opt})$: Irradiación Solar media diaria con inclinación óptima. (kW h/m²/día)

FI : Factor de Irradiancia

h) Cálculo de las Hora pico solar. (HPS)

Para el cálculo de las HPS se debe identificar primeramente el mes menos favorable con respecto al nivel de Irradiación Solar media diaria horizontal $G_a(0^\circ)$, se obtiene el cálculo de su Irradiación Solar media diaria con inclinación óptima $G_a(\beta_{opt})$ correspondiente y finalmente se aplica la siguiente formula:

$$HPS = (G_a(\beta_{opt}) * FI) / (1,0 \text{ kW/m}^2)$$

El cálculo obtenido de HPS, determina las horas de mayor intensidad y aprovechamiento del sol que tendrían los paneles para generar electricidad, Según el criterio del mes crítico, el mes de febrero es el que presenta la irradiación solar media diaria menos favorable para nuestro proyecto, pero sus valores registrados servirán para el cálculo de la energía incidente sobre los paneles solares, para nuestro caso serían: 3.60 HPS/día

$$HPS = (4.23 * 0.85) / 1.0 \text{ kW/m}^2 = 3.60 \text{ horas/día}$$

i) Ángulo de inclinación de un panel solar

Los paneles solares se instalarán de forma que a lo largo del periodo anual de utilización aprovechen al máximo la radiación solar disponible y para el hemisferio

sur su orientación será siempre hacia el norte geográfico, como se ve en la figura anterior.

La inclinación β de un generador fotovoltaico conectado a red se calcula mediante la fórmula siguiente:

$$\beta_{\text{optimo}} = 3.7^\circ + 0.69 * \text{Latitud del lugar}$$

Un punto importante a tener en cuenta en la instalación de los paneles solares, es el porcentaje de sombra por el cual el panel dejará de ser útil, es entorno al 20% de su superficie. Por encima de este dejará de funcionar, en todo caso se buscará que la superficie sombreada del panel no sea superior al 5% en los días más desfavorables.

Coordenadas Geográficas : $-5^\circ 56' 19.41''$ Norte

$$\beta_{\text{optimo}} = 3.7^\circ + 0.69 * (5.9387)$$

$$\beta_{\text{optimo}} = 7.79$$

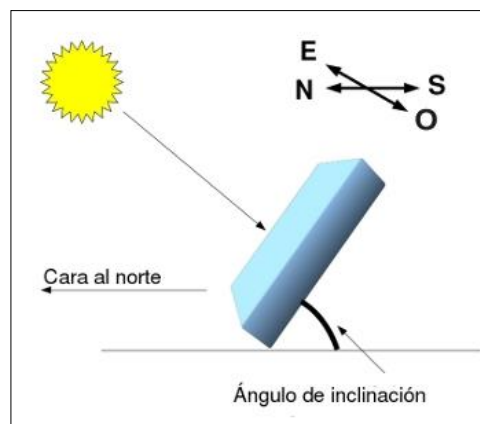


Figura 30 Ángulo de inclinación de un panel solar

Según el cálculo realizado la inclinación que deberán presentar los paneles fotovoltaicos, sería de 7.79° ; pero se sugiere por experiencia, que la inclinación mínima sea de 15° , a fin de que los paneles no presenten acumulación de polvo.

j) Distancia mínima entre filas de paneles

La distancia mínima de separación entre filas de paneles (siguiente figura), depende del ángulo de inclinación de estos, así que cuanto más inclinado esté el panel, deberá guardarse mayor distancia entre filas.

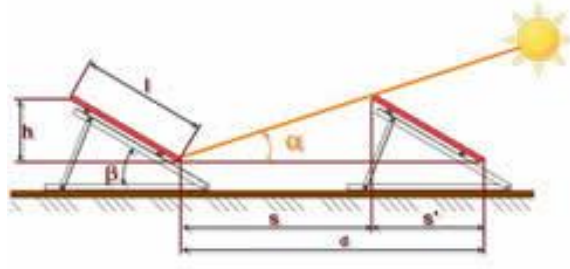


Figura 31 Distancia mínima entre filas de paneles

La distancia mínima se calcula con la fórmula siguiente:

$$H = (90^\circ - \text{Latitud del lugar}) - 23,5^\circ = \alpha_{min}$$

$$Ds_{min} = s + s' = \frac{h}{tg \alpha_{min}} + l * \cos \beta$$

$$Ds_{min} = s + s' = l \left(\cos \beta + \frac{\text{Sen } \beta}{tg \alpha_{min}} \right)$$

Donde:

Ds_{min} : Distancia mínima entre módulos para evitar sombras. (m)

l : Longitud del módulo, incluidos el marco y el soporte. (m)

H : Altura solar en el mediodía del mes más desfavorable. ($^\circ$)

β : Inclinación de los módulos respecto a la horizontal. (7.79°)

$$\alpha_{min} = H = (90^\circ - 5.93^\circ) - 23,5^\circ = 60.5612^\circ$$

Para la etapa de SIEMBRA, que es la etapa de mayor demanda de agua en el cultivo de arroz, son necesarios para el predio Los Rojas un aproximado de 1 740 m³ de agua.

5.3. Estimación de la Altura de bombeo

De la identificación de las condiciones geográficas del predio de Los Rojas, se verificó que la fuente de agua es el río Mayo y está a menos de 69 metros de longitud de la vivienda ubicada en este predio. La altura de bombeo, calculada desde un metro debajo del nivel del río hasta la poza de sembrío de arroz en la posición más elevada es de una altura de 6 metros.



Figura 32 Vista de ubicación del predio Los Rojas. (Google Earth Pro)

5.4. Selección de componentes del sistema de bombeo de agua accionado con energía solar

Selección de Electrobomba

Para nuestra propuesta de diseño e implementación de un sistema de bombeo de agua accionado con energía eléctrica producida por un SFVA, se ha considerado los resultados de la estimación de la necesidad de riego ($1\,740\text{ m}^3$) y la estimación de la Altura de bombeo (6 metros).

Para el presente proyecto se consideró emplear una electrobomba sumergible para uso en sistemas de bombeo de agua fotovoltaicos, debido a las siguientes características y ventajas:

Bombas Fotovoltaicas	Características y Ventajas	Desventajas
Centrífugas sumergibles	<ul style="list-style-type: none"> - Comúnmente disponibles. - Pueden tolerar pequeñas cantidades de arena. - Pueden utilizar el agua como lubricante. - Cuentan con motores de CC de velocidad variable o CA. - Manejan flujos altos. - Operan a cargas dinámicas grandes. - Tienen un diseño modular que permite obtener más agua al agregar más módulos fotovoltaicos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Tienen un rango de eficiencia estrecho con respecto a la CDT. - Se dañan si trabajan en seco. - Deben extraerse para darles mantenimiento. - Sufren desgaste acelerado cuando se instalan en fuentes corrosivas.
Centrífugas de succión superficial	<ul style="list-style-type: none"> - Comúnmente disponibles. - Pueden tolerar pequeñas cantidades de arena. - Son de fácil operación y mantenimiento por ser superficiales. - Cuentan con motores de CC de velocidad variable o CA. - Manejan flujos altos. - Manejan cargas dinámicas altas, aunque no son capaces de succionar más de 8 metros. 	<ul style="list-style-type: none"> - Tienen un rango de eficiencia estrecho con respecto a la CDT. - Sufren desgaste acelerado cuando se instalan en fuentes corrosivas. - Pueden dañarse por el congelamiento en climas fríos.
Desplazamiento positivo de pistón	<ul style="list-style-type: none"> - Soportan cargas dinámicas muy grandes. - La producción puede variarse ajustando la carrera del pistón. 	<ul style="list-style-type: none"> - Requieren de reemplazo regular de sellos del pistón. - No toleran arenas o sedimentos. - La eficiencia se reduce a medida que el pistón pierde la capacidad de sellar el cilindro. - Debe extraerse el pistón y el cilindro del pozo para reparar los sellos. - No dan grandes flujos.
Diafragma	<ul style="list-style-type: none"> - Operan a cargas menores de 40 metros. - Son muy económicas. 	<ul style="list-style-type: none"> - No toleran arenas o sedimentos. - No trabajan a cargas dinámicas grandes - Bajos flujos.

Tabla 4 ventajas y desventajas entre electrobombas fotovoltaicas

ESQUEMA DE OPERACIÓN DE LA BOMBA



Figura 33 Esquema de operación de la bomba

De las ofertas que ofrece el mercado nacional, se seleccionó la siguiente **electrobomba:**

Marca	:	Pedrollo
Modelo	:	4SR75Gm/30
Sistema eléctrico	:	Trifásico (a pedido)
Tensión / frecuencia	:	220 V / 60 Hz
Potencia	:	2.2 kW / 3 Hp
Caudal	:	350 l/min. para 17 metros de altura de bombeo. 380 l/min. para 12 metros de altura de bombeo.

MODELO		POTENCIA (P ₂)		Q m ³ /h l/min	0	3.0	6.0	9.0	12.0	15.0	18.0	21.0	22.8
Monofásica	Trifásica	kW	HP		0	50	100	150	200	250	300	350	380
4SR75Gm/15	4SR75G/15	1.1	1.5	H metros	28	27	25.5	23.5	21	18	14	9	6
4SR75Gm/20	4SR75G/20	1.5	2		36	36	34	32	28	23	18	12.5	9
4SR75Gm/30	4SR75G/30	2.2	3		47	46	44	40	35	30	22.5	17	12
-	4SR75G/50	3.7	5		85	83	79	72	64.5	54	42	28.5	21
-	4SR75G/75	5.5	7.5		130	127	122	113	102	85	66	46	34
-	4SR75G/100	7.5	10		192	185	173	156	135	112	87	61	46

Q = Caudal H = Altura manométrica total

Tolerancia de las curvas de prestación según EN ISO9906 Grado 3B.

Tabla 5 Modelo de electrobomba

Para determinar la cantidad de electrobombas a emplearse, se considerará el cálculo de las horas pico solares y la potencia de la electrobomba sumergible elegida. Se debe tener en cuenta que el riego se deberá hacer de forma rápida a fin de evitar la evapotranspiración, fenómeno que implicaría el aumento de 10 m³ de agua adicional sobre una hectárea de cultivo.

Se procederá a calcular el tiempo a emplearse para regar una (01) hectárea de terreno de cultivo, con una (01) electrobomba sumergible y las horas pico solares calculadas:

Cantidad de agua para riego (3 hectáreas) : 1 740 m³

Cantidad de agua para riego (1 hectáreas) : 580 m³

Caudal de electrobomba : 22.8 m³/h

Horas pico solares (HPS) : 3.45

Tiempo = (580 m³) x (1/ 22.8 m³/h) x (3.45 h/día) = 7.37 días

Como se puede apreciar el tiempo que se emplearía para el riego de una (01) hectárea de terreno de cultivo de arroz tomaría un promedio de 7.37 días, lo cual es demasiado tiempo.

Se procederá a calcular el tiempo a emplearse para regar una (01) hectárea de terreno de cultivo, con dos (02) electrobombas sumergibles y las horas pico solares calculadas:

Cantidad de agua para riego (3 hectáreas) : 1 740 m³

Cantidad de agua para riego (1 hectáreas) : 580 m³

Caudal de electrobombas : 45.6 m³/h

Horas pico solares (HPS) : 3.45

Tiempo = (580 m³) x (1/ 45.6 m³/h) x (3.45 h/día) = 3.68 días

En el caso de asumir que las HPS sean de 5 horas/día, considerando una irradiación uniforme desde las 9:00 am hasta las 2: pm se tendría lo siguiente:

Tiempo = (580 m³) x (1/ 45.6 m³/h) x (5.00 h/día) = 2.54 días

Se recomienda, para reducir el tiempo de riego en el cultivo de arroz, el empleo de dos (02) electrobombas sumergibles de la marca **Pedrollo**, modelo **4SR75Gm/30** según las características indicadas líneas arriba.

Selección de Controlador de Bombeo Solar

Para la selección del controlador de bombeo solar, se ha considerado las características técnicas de la electrobomba sumergible, seleccionada para el sistema

de bombeo de agua accionado con energía eléctrica producida por un SFVA propuesto.

De las ofertas que ofrece el mercado nacional, se seleccionó el siguiente controlador de bombeo solar:

Marca : Atersa
Serie : Easy Sun Pump
Modelo : ESP- 5,5/230-IP54-F050 hasta 50m

Características eléctricas

Referencia Variador	FRN0020E2S-2GA
Potencia nominal del Variador ⁽¹⁾	5.5 kW
Tensión de Salida Trifásica	230 Vac
Potencia máxima motor	7.5 CV
Máxima corriente de Salida	19.6 A
Capacidad de sobrecarga durante 60/0,5 s	150/200 %
Temperatura ambiente	50 °C
Tolerancia tensión de alimentación Auxiliar AC	+10 -15 %
Frecuencia de alimentación Auxiliar AC	50 Hz
Tolerancia frecuencia de alimentación Auxiliar AC	± 5%
Tensión Entrada Auxiliar AC ⁽²⁾	230 V
Eficiencia	97-98 %
Nº de Entradas Series / Corriente máxima	3 x 10 A

⁽¹⁾ Ajustar la potencia en kW del Variador por encima de los kW de la bomba.

⁽²⁾ M = Entrada monofásica.

Ventilación IP20: Natural y ventilador interno en Variador

Ventilación IP54: Caja estanca con ventilador y Filtro IP54

Envolventes: IP20 Placa base Aluminio, IP54 Caja estanca de Acero-Epoxi

Elementos incluidos versión IP-20

- Fusibles seccionables para series FV Entrada DC
- Seccionador con protección Entrada Auxiliar AC
- Protección contra sobretensiones en líneas DCy AC
- Bornes de conexión para Entrada DC y Salida AC
- Bornes de entrada conexión sonda de control de presión
- Bornes de conexión sondas de control de nivel
- Pantalla Teclado con display de Leds
- Salida de comunicaciones RS485 Modbus RTU
- Filtros EMC incluidos
- Filtro dV/dt incluido según modelos

Elementos adicionales versión IP-54

- Ventilación forzada con filtros IP54
- Sistema de alimentación autónomo para la ventilación
- Caja de acero pintada con Epoxi en caliente RAL 7035
- Salidas con Prensas para cables DC y AC

Configuración Series Paneles para 230 Vac

Tensión máxima admitida con motor parado V_{max} (V) 400 Vdc

Tensión mínima admitida con motor parado V_{min} (V) 335 Vdc

Cálculo N° de módulos en serie según la V_{oc}^* del módulo FV:

1. Dividir V_{max} Variador / V_{oc}^* del módulo.
2. El resultado sin decimales es el N° de módulos por serie. **

* V_{oc} es la tensión de circuito abierto de la etiqueta de características eléctricas del módulo.

** Superar la tensión V_{max} del variador puede causar graves daños en el equipo.

Se recomienda, el empleo de un controlador de bombeo de agua, de la marca **ATERSA**, modelo **ESP- 5,5/230-IP54-F050**, según las características indicadas líneas arriba, el mismo que controlara dos (02) electrobombas sumergibles en paralelo.

Se deberá verificar que el controlador de bombeo de agua presente una potencia igual o mayor a la potencia de la electrobomba sumergible, a fin de garantizar su operatividad; las tensiones y el sistema eléctrico de operación de los dos equipos deberán ser similares, así mismo, la frecuencia deberá ser igual para los dos equipos.

5.5. Estimación de la demanda energética solar.

Para nuestra propuesta del sistema de bombeo de agua accionado con energía eléctrica producida por un SFVA, es necesario conocer la demanda energética solar por atender; a fin de que el Generador Fotovoltaico presente un diseño técnico y económicamente viable para nuestro proyecto.

Los datos de la demanda energética solar se obtendrán principalmente de:

- ✓ La potencia de la electrobomba sumergible seleccionada para este proyecto.
- ✓ Considerar que el bombeo solar será por suministro de agua directo, condicionado por el aporte solar diario.

Demanda energética

El sistema de bombeo de agua accionado con energía eléctrica proveniente de un sistema fotovoltaico, abastecerá de agua al predio Los Rojas sin el empleo de baterías solares; es por este motivo que la demanda energética estará relacionada con la potencia de la electrobomba sumergible seleccionada para este proyecto.

Los fabricantes y distribuidores de sistemas de bombeo accionados con energía solar, recomiendan que la potencia del generador FV sea 1.5 veces mayor a la potencia de la electrobomba, a fin de garantizar un funcionamiento satisfactorio del sistema de bombeo.

PTEB : Potencia total Electrobomba (W)

PGFV : Potencia generador fotovoltaico

$$P_{GFV} = 1.5 (P_{TEB}) = 1.5 (2, 2371 \text{ W} * 2) = 6\ 711 \text{ W} = \mathbf{6.71 \text{ kW}}$$

La potencia del generador fotovoltaico será de 6.71 kW. Se recomienda que esta potencia sea atendida por paneles fotovoltaicos de 72 células con potencias mayores a 200 Wp, ya que ofrecen una tensión superior que cualquier otro tipo de panel.

Cálculo del número de paneles fotovoltaicos

Para calcular el número de paneles que tendrá el generador fotovoltaico, se tiene la siguiente información inicial:

PTEB = 4 437 W (Potencia total Electrobomba)

PGFV = 6 711 W (Potencia generador fotovoltaico)

$V_{max} = 400 \text{ Vdc}$ (Configuración Controlador de Bombeo Solar)

$V_{min} = 335 \text{ Vdc}$ (Configuración Controlador de Bombeo Solar)

Se asume el empleo del panel fotovoltaico policristalino de la marca CSUN, modelo CSUN 320-72P, tendremos las siguientes características técnicas que se podrían emplear en nuestro calculo:

Potencia máxima	320 Wp
Tolerancia a potencia máxima	0 - 3%
Voltaje a potencia máxima	36.2 V
Corriente a potencia máxima	8.84 A
Voltaje de circuito abierto	41.6 V
Corriente de cortocircuito	9.17 A
Longitud	1956 mm
Ancho	990 mm
Espesor	50 mm
Peso	22.3 kg.

El número de paneles fotovoltaicos conectado en serie, que permitirán atender el sistema de bombeo de agua accionado con energía solar de esta propuesta de proyecto en sistema trifásico (230Vac) en corriente alterna, dependerá de las configuraciones recomendadas para el Controlador de Bombeo, así como, del voltaje a potencia máxima del panel fotovoltaico seleccionado. Se procede a calcular de la siguiente manera:

Voltaje a potencia máxima 36.2 V (Del panel fotovoltaico)

Configuración Series Paneles para 230 Vac

$V_{max} = 400 \text{ Vdc}$ (Configuración Controlador de Bombeo Solar)

$V_{min} = 335 \text{ Vdc}$ (Configuración Controlador de Bombeo Solar)

$N^{\circ} \text{ paneles FV en serie} = V_{max} \text{ Controlador de bombeo} / V_{max} \text{ Panel FV}$

$N^{\circ} \text{ paneles FV en serie} = 400 \text{ Vdc} / 36.2 \text{ Vdc} = 11.05 \approx \mathbf{11 \text{ paneles}}$

$N^{\circ} \text{ paneles FV en serie} = V_{min} \text{ Controlador de bombeo} / V_{max} \text{ Panel FV}$

$N^{\circ} \text{ paneles FV en serie} = 335 \text{ Vdc} / 36.2 \text{ Vdc} = 9.25 \approx \mathbf{9 \text{ paneles}}$

Se recomienda que la configuración de paneles en serie, sea de **diez (10) paneles**.

El cálculo del número de paneles fotovoltaicos conectado en paralelo, dependerá de la Potencia calculada del generador fotovoltaico y de la potencia máxima del panel fotovoltaico seleccionado. Se procede a calcular de la siguiente manera:

Potencia máxima de panel FV : 320 Wp

Potencia del generador fotovoltaico (PGFV) : 6 711 W

$N^{\circ} \text{ paneles FV en paralelo} = \text{Potencia generador fotovoltaico} / (N^{\circ} \text{ de paneles FV en serie} * \text{Potencia máxima de panel FV})$

$N^{\circ} \text{ paneles FV en paralelo} = 6\,711 \text{ W} / (10 * 320 \text{ W}) = 2.10 \approx \mathbf{2 \text{ paneles}}$

La configuración de paneles en paralelo será de dos (02) paneles.

Se concluye que la cantidad de paneles a usar en cada sistema de bombeo de agua accionado con energía solar, será de un total de **veinte (20) paneles FV**.

5.6. Análisis de rentabilidad del proyecto

Para el análisis de la rentabilidad del proyecto se han evaluado las entrevistas y encuestas realizadas durante la inspección de campo en el predio Los Rojas, las cuales, brindaron información importante para la cuantificación de los gastos anuales de operación y mantenimiento y gastos de combustible y lubricantes que se requieren para el funcionamiento de la maquinaria de bombeo convencional.

Para este proyecto, se presentan tres escenarios para el análisis de rentabilidad (VAN, TIR y C/B), el primer escenario basado en un predio para cultivo de arroz de tres hectáreas, que corresponde al predio Los Rojas; el segundo escenario basado en un predio de siete hectáreas y el tercer escenario basado en un predio de diez hectáreas.

5.6.1 Evaluación Económica

a) Costo del proyecto

Costo del Sistema de Bombeo de agua accionado con SFVA

El mercado nacional ofrece una variedad de alternativas técnicas y económicas para la implementación del presente proyecto.

Resultado de la evaluación técnica y económica más favorable para nuestro proyecto y de las mejoras en el abastecimiento de agua necesarias a

ejecutarse (obras civiles), se identificó que el costo de inversión es la siguiente:

PROYECTO: SISTEMA DE BOMBEO CON ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA RIEGO DE ARROZ EN EL PREDIO LOS ROJAS, UBICADO EN EL DISTRITO DE YURACYACU, PROVINCIA RIOJA, DEPARTAMENTO DE SAN MARTIN					
DISTRITO: YURACYACU					
PROVINCIA: RIOJA					
DEPARTAMENTO: SAN MARTIN					
Item	Descripción	Unidad	Metrado	Precio \$/.	Parcial \$/.
1.00	SUMINISTRO DE MATERIALES Y EQUIPOS				28,471.90
1.01	PANELES FOTOVOLTAICOS				15,384.60
01.01.01	PANEL FOTOVOLTAICO , 320 Wp, 24V, POLICRISTALINO	Und	20.00	769.23	15,384.60
1.02	SOPORTE PARA PANELES SOLARES				2,000.00
01.02.01	ESTRUCTURAS METALICAS DE SOPORTE DE PANELES FOTOVOLTAICOS, PARA USO A LA INTEMPERIE, CON BASES PARA ANCLAJE	Und	4.00	500.00	2,000.00
1.03	TABLERO DE CONTROL DE BOMBEO SOLAR				5,137.30
01.03.01	CONTROL BOMBEO SOLAR 230V FUJI 5.5 KW IP20 50M	Und	1.00	5,137.30	5,137.30
1.04	ELECTROBOMBA				4,449.72
01.04.01	BOMBA SUMERGIBLE PEDROLLO 4SR75G 3HP TRIFÁSICA	Und	2.00	2,224.86	4,449.72
1.05	CABLES DE ENERGÍA				471.30
01.05.01	CABLE DE ENERGIA TIPO N2XOH, 1x6 mm ² , 1.0 kV. (Color Negro)	m	30.00	4.06	121.8
01.05.02	CABLE DE ENERGIA TIPO N2XOH, 1x6 mm ² , 1.0 kV. (Color Rojo)	m	30.00	4.06	121.8
01.05.03	CABLE DE ENERGIA TIPO N2XOH, 3-1x6 mm ² +1x6 mm ² , 1.0 kV	m	30.00	7.59	227.7
1.06	ACCESORIOS DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO				456.15
01.06.01	JUEGO DE CONECTORES WEIDMULLER PANELES-REGULADOR	Und	3.00	20.50	61.50
01.06.02	TERMINALES TIPO OJAL 50 mm ²	Und	12.00	6.35	76.20
01.06.03	REPARTIDOR LEGRAND, BIPOLAR, 40A	Und	3.00	76.87	230.61
01.06.04	CAJA ESTANCA SOLERA, 153x110x65	Und	3.00	29.28	87.84
1.07	PUESTA A TIERRA				295.51
01.07.01	ELECTRODO COPPERWELD DE 19mm0 X 2.40 m DE LONGITUD	Und	1.00	80.00	80.00
01.07.02	CONDUCTOR DE Cu DESNUDO, 7 HILOS, TEMPLE BLANDO CABLEADO DE 25 mm ²	m	15.00	6.80	102.00
01.07.03	CONECTOR DE BRONCE TIPO AB, SECCIÓN DEL CONDUCTOR 16-70MM ² , PARA ELECTRODO	Und	1.00	3.20	3.20
01.07.04	PROTECTOR ANTIROBO PARA DE PUESTA A TIERRA	Und	1.00	25.05	25.05
01.07.05	TUBO PLASTICO DE PVC-SAP, 20mm0 Y 1.0m DE LONGITUD	Und	1.00	2.18	2.18
01.07.06	BENTONITA SÓDICA (30 kg)	Und	2.00	21.90	43.80
01.07.07	CAJA Y TAPA DE CONCRETO PARA REGISTRO DE PUESTA A TIERRA	Und	1.00	39.28	39.28
1.08	TUBERIAS Y MATERIALES Y EQUIPOS				277.32
01.08.01	TUBERIA FLEXIBLE CONDUIT, CON CUBIERTA PLASTICA, 20mm0	m	15.00	2.20	33.00
01.08.02	CONECTOR HERMETICO PARA TUBERIA FLEXIBLE DE 20mm0	Und	6.00	14.90	89.40
01.08.03	TUBERIA FLEXIBLE CONDUIT, CON CUBIERTA PLASTICA, 25mm0	m	15.00	3.58	53.70
01.08.04	CONECTOR HERMETICO PARA TUBERIA FLEXIBLE DE 25mm0	Und	6.00	16.87	101.22
2.00	MONTAJE ELECTROMECHANICO				6,757.69
2.01	INSTALACION, MONTAJE Y PUESTA EN MARCHA DE EQUIPOS DE GENERADOR FOTOVOLTAICO.				1,500.00
02.01.01	INSTALACION, MONTAJE, CONEXIONADO Y PUESTA EN MARCHA DE PANELES FOTOVOLTAICOS SOBRE ESTRUCTURA METALICA.	Und	1.00	1,500.00	1,500.00
2.02	INSTALACION DE TABLEROS Y ELECTROBOMBAS				1,600.00
02.03.01	MONTAJE DE TABLERO DE CONTROL DE BOMBEO. INCLUYE ANCLAJE, CANALIZACIÓN, INSTALACIÓN, CONEXIONADO Y PRUEBAS.	Und	1.00	600.00	600.00
02.03.02	MONTAJE DE ELECTROBOMBA. INCLUYE ANCLAJE, CANALIZACIÓN, INSTALACIÓN, CONEXIONADO Y PRUEBAS.	Und	2.00	500.00	1,000.00
2.03	INSTALACION DE PUESTA A TIERRA (INCLUYE PROTOCOLOS DE PRUEBAS)				157.69
02.02.01	INSTALACIÓN DE PUESTA A TIERRA TIPO PAT-1. COMPRENDE EXCAVACION, MONTAJE DE VARILLA, RELLENO, COMPACTACIÓN Y PRUEBAS.	Und	1.00	157.69	157.69
2.04	OBRAS CIVILES				3,500.00
02.04.01	CONSTRUCCION DE POZO DE CAPTACION DE AGUA DE 6m3. INCLUYE MATERIAL Y MANO DE OBRA	Glb	1.00	3,500.00	3,500.00
COSTO DIRECTO					35,229.59
GASTOS GENERALES (10.00% CD)					3,522.96
UTILIDAD (6.00%CD)					2,113.78
SUB TOTAL					40,866.32
IGV (18%ST)					7,355.94
PRESUPUESTO TOTAL					48,222.26

Tabla 6 Presupuesto del proyecto

Costo de operación y mantenimiento

Cabe mencionar que hay registro de encuestas a propietarios de predios de tres (03), siete (07) y diez (10) hectáreas, donde se aprecian datos informativos propios del cultivo de arroz, gastos anuales de mantenimiento de equipos de bombeo convencional y gastos por campaña de combustible y lubricantes.

Alternativa	Campaña	Gastos			Ganancia neta
		Combustible y lubricantes	Operación y Mantenimiento	Jornales y productos agrícolas	
01 - Predio de tres hectáreas	01	S/700.00	S/600.00	S/9,000.00	S/17,000.00
	02	S/700.00		S/9,000.00	S/17,000.00
02 - Predio de siete hectáreas	01	S/1,580.00	S/1,100.00	S/21,000.00	S/39,870.00
	02	S/1,580.00		S/21,000.00	S/39,870.00
03 - predio de diez hectáreas	01	S/2,050.00	S/1,600.00	S/30,000.00	S/57,150.00
	02	S/2,050.00		S/30,000.00	S/57,150.00

Tabla 7 Gastos de bombeo con sistema convencional y ganancia por campaña de arroz

Con este nuevo sistema de bombeo de agua accionado con energía eléctrica proveniente de un SFVA, se elimina el consumo de combustible y lubricantes, se prevé que los gastos de operación y mantenimiento se van a mantener, pero con un costo relativamente bajo con respecto al sistema de bombeo convencional.

Los gastos de operación y mantenimiento derivarían por la limpieza de paneles solares, limpieza de pozo de abastecimiento de agua y gastos por desplazamiento de los equipos del sistema de bombeo solar a otros puntos de abastecimiento, teniendo en cuenta que este proyecto mantiene la misma configuración del sistema de bombeo solar, para las tres alternativas materia del análisis de rentabilidad.

Alternativa	Campaña	Gastos			Ganancia neta
		Combustible y lubricantes	Operación y Mantenimiento	Jornales y productos agrícolas	
01 - Predio de tres hectáreas	01	S/0.00	S/ 400.00	S/9,000.00	S/17,800.00
	02	S/0.00		S/9,000.00	S/17,800.00
02 - Predio de siete hectáreas	01	S/0.00	S/ 400.00	S/21,000.00	S/41,800.00
	02	S/0.00		S/21,000.00	S/41,800.00
03 - predio de diez hectáreas	01	S/0.00	S/ 400.00	S/30,000.00	S/59,800.00
	02	S/0.00		S/30,000.00	S/59,800.00

Tabla 8 Gastos con sistema de bombeo con energía solar y ganancia por campaña de arroz

b) Beneficios del proyecto

Ingresos de ahorro

Alternativa	Campaña	Gastos		Gastos ahorrados
		Combustible y lubricantes	Operación y Mantenimiento	
01 - Predio de tres hectáreas	01	S/700.00	S/ 200.00	S/1600.00
	02	S/700.00		
02 - Predio de siete hectáreas	01	S/1,580.00	S/ 700.00	S/3860.00
	02	S/1,580.00		
03 - predio de diez hectáreas	01	S/2,050.00	S/ 1200.00	S/5300.00
	02	S/2,050.00		

Tabla 9 Gastos ahorrados con sistema de bombeo con energía solar

Valor residual y depreciación

$$\text{Valor Residual} = \text{Inversion} * \left(1 - \frac{\text{Horizonte del Proyecto}}{\text{Vida Util}} \right)$$

SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA ACCIONADO CON ENERGÍA SOLAR - ALTERNATIVAS 01

AÑO	Costo Total (S/)	Depreciacion (S/)	AÑO	Costo Total (S/)	Depreciacion (S/)
2019	48,222.26	48,222.26	2030	400.00	24,111.13
2020	400.00	46,030.34	2031	400.00	21,919.21
2021	400.00	43,838.42	2032	400.00	19,727.29
2022	400.00	41,646.50	2033	400.00	17,535.37
2023	400.00	39,454.58	2034	400.00	15,343.45
2024	400.00	37,262.66	2035	400.00	13,151.53
2025	400.00	35,070.74	2036	400.00	10,959.61
2026	400.00	32,878.82	2037	400.00	8,767.68
2027	400.00	30,686.89	2038	400.00	6,575.76
2028	400.00	28,494.97	2039	400.00	4,383.84
2029	400.00	26,303.05			

INDICADORES	
Costo de Inversion	S/48,222.26
Vida Util	22 años
Horizonte del Proyecto	20 años
Valor Residual	S/ 4,383.84
Tasa Residual	4.55%

Tabla 10 Valor residual y Depreciación - Alternativa 01 (Predio de tres hectáreas)

SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA ACCIONADO CON ENERGÍA SOLAR - ALTERNATIVAS 02

AÑO	Costo Total (S/)	Depreciacion (S/)	AÑO	Costo Total (S/)	Depreciacion (S/)
2019	48,222.26	48,222.26	2030	400.00	24,111.13
2020	400.00	46,030.34	2031	400.00	21,919.21
2021	400.00	43,838.42	2032	400.00	19,727.29
2022	400.00	41,646.50	2033	400.00	17,535.37
2023	400.00	39,454.58	2034	400.00	15,343.45
2024	400.00	37,262.66	2035	400.00	13,151.53
2025	400.00	35,070.74	2036	400.00	10,959.61
2026	400.00	32,878.82	2037	400.00	8,767.68
2027	400.00	30,686.89	2038	400.00	6,575.76
2028	400.00	28,494.97	2039	400.00	4,383.84
2029	400.00	26,303.05			

INDICADORES	
Costo de Inversion	S/48,222.26
Vida Util	22 años
Horizonte del Proyecto	20 años
Valor Residual	S/ 4,383.84
Tasa Residual	4.55%

Tabla 11 Valor residual y Depreciación - Alternativa 02 (Predio de siete hectáreas)

SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA ACCIONADO CON ENERGÍA SOLAR - ALTERNATIVAS 03

AÑO	Costo Total (S/)	Depreciacion (S/)	AÑO	Costo Total (S/)	Depreciacion (S/)
2019	48,222.26	48,222.26	2030	400.00	24,111.13
2020	400.00	46,030.34	2031	400.00	21,919.21
2021	400.00	43,838.42	2032	400.00	19,727.29
2022	400.00	41,646.50	2033	400.00	17,535.37
2023	400.00	39,454.58	2034	400.00	15,343.45
2024	400.00	37,262.66	2035	400.00	13,151.53
2025	400.00	35,070.74	2036	400.00	10,959.61
2026	400.00	32,878.82	2037	400.00	8,767.68
2027	400.00	30,686.89	2038	400.00	6,575.76
2028	400.00	28,494.97	2039	400.00	4,383.84
2029	400.00	26,303.05			

INDICADORES	
Costo de Inversion	S/48,222.26
Vida Util	22 años
Horizonte del Proyecto	20 años
Valor Residual	S/ 4,383.84
Tasa Residual	4.55%

Tabla 12 Valor residual y Depreciación - Alternativa 03 (Predio de diez hectáreas)

c) Indicadores de rentabilidad

Valor Actual Neto (VAN)

El cual presenta los siguientes criterios de evaluación:

Si el VAN es < 0 , se rechaza el proyecto.

Si el VAN es $= 0$, el proyecto es indiferente.

Si el VAN es > 0 , se acepta el proyecto.

Y viene dada por la suma algebraica de los valores actualizados con una tasa de descuento del 12% anual, de los costos e ingresos generados durante el horizonte de análisis.

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{Vt}{(1 + k_0)^t} - I_0$$

Donde:

I_0 : Inversión inicial monetaria en el presente.

Vt : Flujos de caja futuros en cada periodo t.

N : Numero de periodos de vigencia del proyecto (20 años).

k_0 : Tipo de interés de la renta fija (12%).

Tasa Interna de Retorno (TIR)

El cual presenta los siguientes criterios de evaluación:

- ✓ Si el $TIR < k_0$ a la tasa mínima aceptable de rendimiento del proyecto (TMAR), se rechaza, ya que el proyecto genera menos beneficios que el interés pagado por la banca; ante lo cual sería más atractivo depositar el monto de los recursos disponibles en el banco o bien, optar por una alternativa de inversión rentable.
- ✓ Si el $TIR = k_0$ la tasa mínima aceptable de rendimiento del proyecto, el proyecto es indiferente. De tal manera que los beneficios del proyecto sólo pagarán los costos.
- ✓ Si el $TIR > k_0$ la tasa mínima aceptable de rendimiento del proyecto (TMAR), se acepta. Lo que significa que el beneficio real que se obtiene con el proyecto es mayor a la tasa de interés que pagan los bancos.

Se determina Cuando el VAN resulta igual a cero.

$$0 = \sum_{t=1}^n \frac{Vt}{(1 + TIR)^t} - I_0$$

Donde:

I_0 : Inversión inicial monetaria en el presente.

Vt : Flujos de caja futuros en cada periodo t.

N : Numero de periodos de vigencia del proyecto (20 años).

Relación Beneficio - Costo (B/C)

La relación beneficio / costo es un indicador que mide el grado de desarrollo y bienestar que un proyecto puede generar a una comunidad.

El cual presenta los siguientes criterios de evaluación:

- ✓ Si la relación B/C es < 1 , se rechaza el proyecto.
- ✓ Si la relación B/C es $= 1$, la decisión de invertir es indiferente.
- ✓ Si la relación B/C es > 1 , se acepta el proyecto.

Y viene dada por la siguiente relación:

$$\frac{B}{C} = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{B}{(1 + k_0)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{C}{(1 + k_0)^t}}$$

SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA ACCIONADO CON ENERGÍA SOLAR - ALTERNATIVA 01

TASA DE DESCUENTO: 12%				HORIZONTE DEL PROYECTO (años) 20			
AÑO	Costo Total (\$/)	Ingreso Ahorro (\$/)	Flujo Total (\$/)	Tasa Descuento 12%	Flujo Total Actual (\$/)	Costo Total Actual (\$/)	Ingreso Ahorro Actual (\$/)
2019	48,222.26	0.00	- 48,222.26	1.00	- 48,222.26	48,222.26	0.00
2020	400.00	1,600.00	1,200.00	0.89	1,071.43	357.14	1,428.57
2021	400.00	1,600.00	1,200.00	0.80	956.63	318.88	1,275.51
2022	400.00	1,600.00	1,200.00	0.71	854.14	284.71	1,138.85
2023	400.00	1,600.00	1,200.00	0.64	762.62	254.21	1,016.83
2024	400.00	1,600.00	1,200.00	0.57	680.91	226.97	907.88
2025	400.00	1,600.00	1,200.00	0.51	607.96	202.65	810.61
2026	400.00	1,600.00	1,200.00	0.45	542.82	180.94	723.76
2027	400.00	1,600.00	1,200.00	0.40	484.66	161.55	646.21
2028	400.00	1,600.00	1,200.00	0.36	432.73	144.24	576.98
2029	400.00	1,600.00	1,200.00	0.32	386.37	128.79	515.16
2030	400.00	1,600.00	1,200.00	0.29	344.97	114.99	459.96
2031	400.00	1,600.00	1,200.00	0.26	308.01	102.67	410.68
2032	400.00	1,600.00	1,200.00	0.23	275.01	91.67	366.68
2033	400.00	1,600.00	1,200.00	0.20	245.54	81.85	327.39
2034	400.00	1,600.00	1,200.00	0.18	219.24	73.08	292.31
2035	400.00	1,600.00	1,200.00	0.16	195.75	65.25	260.99
2036	400.00	1,600.00	1,200.00	0.15	174.77	58.26	233.03
2037	400.00	1,600.00	1,200.00	0.13	156.05	52.02	208.06
2038	400.00	1,600.00	1,200.00	0.12	139.33	46.44	185.77
2039	400.00	1,600.00	1,200.00	0.10	124.40	41.47	165.87
VALOR ACTUAL NETO (VAN)							-\$/ 39,258.93
TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)							-5.89%
RELACION BENEFICIO/COSTO (B/C)							0.23

Tabla 13 Análisis de rentabilidad - Alternativa 01 (Predio de tres hectáreas)

SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA ACCIONADO CON ENERGÍA SOLAR - ALTERNATIVA 02

TASA DE DESCUENTO: 12%				HORIZONTE DEL PROYECTO (años) 20			
AÑO	Costo Total (\$/)	Ingreso Ahorro (\$/)	Flujo Total (\$/)	Tasa Descuento 12%	Flujo Total Actual (\$/)	Costo Total Actual (\$/)	Ingreso Ahorro Actual (\$/)
2019	48,222.26	0.00	- 48,222.26	1.00	- 48,222.26	48,222.26	0.00
2020	400.00	3,860.00	3,460.00	0.89	3,089.29	357.14	3,446.43
2021	400.00	3,860.00	3,460.00	0.80	2,758.29	318.88	3,077.17
2022	400.00	3,860.00	3,460.00	0.71	2,462.76	284.71	2,747.47
2023	400.00	3,860.00	3,460.00	0.64	2,198.89	254.21	2,453.10
2024	400.00	3,860.00	3,460.00	0.57	1,963.30	226.97	2,190.27
2025	400.00	3,860.00	3,460.00	0.51	1,752.94	202.65	1,955.60
2026	400.00	3,860.00	3,460.00	0.45	1,565.13	180.94	1,746.07
2027	400.00	3,860.00	3,460.00	0.40	1,397.44	161.55	1,558.99
2028	400.00	3,860.00	3,460.00	0.36	1,247.71	144.24	1,391.95
2029	400.00	3,860.00	3,460.00	0.32	1,114.03	128.79	1,242.82
2030	400.00	3,860.00	3,460.00	0.29	994.67	114.99	1,109.66
2031	400.00	3,860.00	3,460.00	0.26	888.10	102.67	990.77
2032	400.00	3,860.00	3,460.00	0.23	792.94	91.67	884.61
2033	400.00	3,860.00	3,460.00	0.20	707.98	81.85	789.83
2034	400.00	3,860.00	3,460.00	0.18	632.13	73.08	705.21
2035	400.00	3,860.00	3,460.00	0.16	564.40	65.25	629.65
2036	400.00	3,860.00	3,460.00	0.15	503.93	58.26	562.19
2037	400.00	3,860.00	3,460.00	0.13	449.94	52.02	501.95
2038	400.00	3,860.00	3,460.00	0.12	401.73	46.44	448.17
2039	400.00	3,860.00	3,460.00	0.10	358.69	41.47	400.15
VALOR ACTUAL NETO (VAN)							-\$/ 22,377.99
TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)							3.72%
RELACION BENEFICIO/COSTO (B/C)							0.56

Tabla 14 Análisis de rentabilidad - Alternativa 02 (Predio de siete hectáreas)

SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA ACCIONADO CON ENERGÍA SOLAR - ALTERNATIVA 03

TASA DE DESCUENTO: 12%				HORIZONTE DEL PROYECTO (años) 20			
AÑO	Costo Total (S/)	Ingreso Ahorro (S/)	Flujo Total (S/)	Tasa Descuento 12%	Flujo Total Actual (S/)	Costo Total Actual (S/)	Ingreso Ahorro Actual (S/)
2019	48,222.26	0.00	- 48,222.26	1.00	- 48,222.26	48,222.26	0.00
2020	400.00	5,300.00	4,900.00	0.89	4,375.00	357.14	4,732.14
2021	400.00	5,300.00	4,900.00	0.80	3,906.25	318.88	4,225.13
2022	400.00	5,300.00	4,900.00	0.71	3,487.72	284.71	3,772.44
2023	400.00	5,300.00	4,900.00	0.64	3,114.04	254.21	3,368.25
2024	400.00	5,300.00	4,900.00	0.57	2,780.39	226.97	3,007.36
2025	400.00	5,300.00	4,900.00	0.51	2,482.49	202.65	2,685.14
2026	400.00	5,300.00	4,900.00	0.45	2,216.51	180.94	2,397.45
2027	400.00	5,300.00	4,900.00	0.40	1,979.03	161.55	2,140.58
2028	400.00	5,300.00	4,900.00	0.36	1,766.99	144.24	1,911.23
2029	400.00	5,300.00	4,900.00	0.32	1,577.67	128.79	1,706.46
2030	400.00	5,300.00	4,900.00	0.29	1,408.63	114.99	1,523.62
2031	400.00	5,300.00	4,900.00	0.26	1,257.71	102.67	1,360.38
2032	400.00	5,300.00	4,900.00	0.23	1,122.95	91.67	1,214.62
2033	400.00	5,300.00	4,900.00	0.20	1,002.64	81.85	1,084.49
2034	400.00	5,300.00	4,900.00	0.18	895.21	73.08	968.29
2035	400.00	5,300.00	4,900.00	0.16	799.30	65.25	864.54
2036	400.00	5,300.00	4,900.00	0.15	713.66	58.26	771.92
2037	400.00	5,300.00	4,900.00	0.13	637.19	52.02	689.21
2038	400.00	5,300.00	4,900.00	0.12	568.92	46.44	615.37
2039	400.00	5,300.00	4,900.00	0.10	507.97	41.47	549.43
VALOR ACTUAL NETO (VAN)						-S/. 11,621.99	
TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)						7.97%	
RELACION BENEFICIO/COSTO (B/C)						0.77	

Tabla 15 Análisis de rentabilidad - Alternativa 03 (Predio de diez hectáreas)

Sensibilidad del proyecto

El análisis de sensibilidad consiste en suponer variaciones que castiguen el presupuesto, por ejemplo, una disminución de cierto porcentaje en ingresos, o un aumento porcentual en los costos y/o gastos, etc. (Por ejemplo, la tasa de interés, el volumen y/o el precio de ventas, el costo de la mano de obra, el de las materias primas, el de la tasa de impuestos, el monto del capital, etc.) y, a la vez, mostrar la holgura con que se cuenta para su realización ante eventuales cambios de tales variables en el mercado.

SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA ACCIONADO CON ENERGÍA SOLAR - ALTERNATIVA 01

HORIZONTE DEL PROYECTO (años): 20

TASA DE DESCUENTO: 12%

AÑO	FLUJO TOTAL (S/.)						
	70%	80%	90%	100%	110%	120%	130%
2019	- 24,304.02	- 34,720.03	- 43,400.04	- 48,222.26	- 53,044.49	- 63,653.39	- 82,749.40
2020	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00
2021	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00
2022	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00
2023	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00
2024	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00
2025	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00
2026	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00
2027	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00
2028	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00
2029	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00
2030	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00
2031	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00
2032	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00
2033	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00
2034	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00
2035	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00
2036	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00
2037	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00
2038	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00
2039	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00
VAN	- 15,340.69	- 25,756.70	- 34,436.70	- 39,258.93	- 44,081.16	- 54,690.05	- 73,786.07
TIR	-0.12%	-3.29%	-5.08%	-5.89%	-6.60%	-7.91%	-9.69%

Tabla 16 Sensibilidad del Proyecto - Alternativa 01 (Predio de tres hectáreas)

SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA ACCIONADO CON ENERGÍA SOLAR - ALTERNATIVA 02

TASA DE DESCUENTO: 12%				HORIZONTE DEL PROYECTO (años) 20			
AÑO	Costo Total (S/)	Ingreso Ahorro (S/)	Flujo Total (S/)	Tasa Descuento 12%	Flujo Total Actual (S/)	Costo Total Actual (S/)	Ingreso Ahorro Actual (S/)
2019	48,222.26	0.00	- 48,222.26	1.00	- 48,222.26	48,222.26	0.00
2020	400.00	3,860.00	3,460.00	0.89	3,089.29	357.14	3,446.43
2021	400.00	3,860.00	3,460.00	0.80	2,758.29	318.88	3,077.17
2022	400.00	3,860.00	3,460.00	0.71	2,462.76	284.71	2,747.47
2023	400.00	3,860.00	3,460.00	0.64	2,198.89	254.21	2,453.10
2024	400.00	3,860.00	3,460.00	0.57	1,963.30	226.97	2,190.27
2025	400.00	3,860.00	3,460.00	0.51	1,752.94	202.65	1,955.60
2026	400.00	3,860.00	3,460.00	0.45	1,565.13	180.94	1,746.07
2027	400.00	3,860.00	3,460.00	0.40	1,397.44	161.55	1,558.99
2028	400.00	3,860.00	3,460.00	0.36	1,247.71	144.24	1,391.95
2029	400.00	3,860.00	3,460.00	0.32	1,114.03	128.79	1,242.82
2030	400.00	3,860.00	3,460.00	0.29	994.67	114.99	1,109.66
2031	400.00	3,860.00	3,460.00	0.26	888.10	102.67	990.77
2032	400.00	3,860.00	3,460.00	0.23	792.94	91.67	884.61
2033	400.00	3,860.00	3,460.00	0.20	707.98	81.85	789.83
2034	400.00	3,860.00	3,460.00	0.18	632.13	73.08	705.21
2035	400.00	3,860.00	3,460.00	0.16	564.40	65.25	629.65
2036	400.00	3,860.00	3,460.00	0.15	503.93	58.26	562.19
2037	400.00	3,860.00	3,460.00	0.13	449.94	52.02	501.95
2038	400.00	3,860.00	3,460.00	0.12	401.73	46.44	448.17
2039	400.00	3,860.00	3,460.00	0.10	358.69	41.47	400.15
VALOR ACTUAL NETO (VAN)						-S/. 22,377.99	
TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)						3.72%	
RELACION BENEFICIO/COSTO (B/C)						0.56	

Tabla 17 Sensibilidad del Proyecto - Alternativa 02 (Predio de siete hectáreas)

SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA ACCIONADO CON ENERGÍA SOLAR - ALTERNATIVA 03

HORIZONTE DEL PROYECTO (años): 20

TASA DE DESCUENTO: 12%

AÑO	FLUJO TOTAL (\$/.)						
	70%	80%	90%	100%	110%	120%	130%
2019	- 24,304.02	- 34,720.03	- 43,400.04	- 48,222.26	- 53,044.49	- 63,653.39	- 82,749.40
2020	4900.00	4900.00	4900.00	4900.00	4900.00	4900.00	4900.00
2021	4900.00	4900.00	4900.00	4900.00	4900.00	4900.00	4900.00
2022	4900.00	4900.00	4900.00	4900.00	4900.00	4900.00	4900.00
2023	4900.00	4900.00	4900.00	4900.00	4900.00	4900.00	4900.00
2024	4900.00	4900.00	4900.00	4900.00	4900.00	4900.00	4900.00
2025	4900.00	4900.00	4900.00	4900.00	4900.00	4900.00	4900.00
2026	4900.00	4900.00	4900.00	4900.00	4900.00	4900.00	4900.00
2027	4900.00	4900.00	4900.00	4900.00	4900.00	4900.00	4900.00
2028	4900.00	4900.00	4900.00	4900.00	4900.00	4900.00	4900.00
2029	4900.00	4900.00	4900.00	4900.00	4900.00	4900.00	4900.00
2030	4900.00	4900.00	4900.00	4900.00	4900.00	4900.00	4900.00
2031	4900.00	4900.00	4900.00	4900.00	4900.00	4900.00	4900.00
2032	4900.00	4900.00	4900.00	4900.00	4900.00	4900.00	4900.00
2033	4900.00	4900.00	4900.00	4900.00	4900.00	4900.00	4900.00
2034	4900.00	4900.00	4900.00	4900.00	4900.00	4900.00	4900.00
2035	4900.00	4900.00	4900.00	4900.00	4900.00	4900.00	4900.00
2036	4900.00	4900.00	4900.00	4900.00	4900.00	4900.00	4900.00
2037	4900.00	4900.00	4900.00	4900.00	4900.00	4900.00	4900.00
2038	4900.00	4900.00	4900.00	4900.00	4900.00	4900.00	4900.00
2039	4900.00	4900.00	4900.00	4900.00	4900.00	4900.00	4900.00
VAN	12,296.25	1,880.24	- 6,799.76	- 11,621.99	- 16,444.22	- 27,053.11	- 46,149.13
TIR	19.60%	12.86%	9.43%	7.97%	6.72%	4.52%	1.67%

Tabla 18 Sensibilidad del Proyecto - Alternativa 03 (Predio de diez hectáreas)

CONCLUSIONES

5.7. Conclusiones

- a) Se concluye que el proyecto es viable desde el punto de vista técnico, pero no es viable económicamente, debido a la parametrización del objetivo, que es la abastecer de agua al cultivo de arroz en el predio Los Rojas, ubicado en Yuracyacu, provincia Rioja departamento San Martín.
- b) El presente proyecto está supeditado para su eficiente funcionamiento, a niveles de radiación solar y condiciones climatológicas favorables, los cuales son variables no manejables.
- c) Desde el punto de vista técnico, el presente proyecto propuesto puede atender el abastecimiento de agua al predio Los Rojas de forma satisfactoria, el empleo de este sistema de bombeo de agua que funciona con tecnología de energía renovable, puede ser empleada todos los días, siempre y cuando se presente niveles de radiación solar y condiciones climatológicas favorables.
- d) La aplicación de este sistema de bombeo de agua que funciona con tecnología de energía renovable, eliminaría el impacto ambiental negativo que se genera al emplear un sistema de bombeo de agua con motobomba accionada por combustibles fósiles y aditivos lubricantes no biodegradables.
- e) Teniendo en cuenta que el proyecto propuesto se aplicaría exclusivamente al tema de abastecimiento de agua al cultivo de arroz, sería la causa de que los resultados del análisis de rentabilidad (VAN, TIR y B/C) resulten negativos; ya que se deja de lado la posibilidad de emplear el sistema de generador FV y otros equipos adicionales (reguladores de carga MPPT y baterías solares), para generar suministro eléctrico para que sea aprovechado en usos domésticos y en la pequeña empresa; considerando que las etapas de cultivo de arroz demandan una cantidad de días bien específicos.

BIBLIOGRAFÍA

Aritz Carrera Barrio; Diseño de Sistema de Bombeo Fotovoltaico para Riego en Bahir Dar (Etiopía). Trabajo de Final de Grado – Universidad Jaime I, Castellón de la Plana, Valencia, España, Febrero 2016

Sandia National Laboratories; Guía para el desarrollo de Proyectos de Bombeo de Agua con Energía Fotovoltaica.

Moira Milagros Lossio Aricoché; Sistema de abastecimiento de Agua Potable para cuatro Poblados Rurales del Distrito de Lancones – Depositario Universidad de Piura, Piura, Perú, 2012.

Espinoza R., Horn M., Electrificación rural con sistemas fotovoltaicos. Centro de Energías Renovables - Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú. (1992)

Rodríguez M., H.; Manual de sistemas fotovoltaicos para electrificación rural. PNUD: OLADE: JUNAC, Bogotá, Colombia (1995)

Gestión y administración de proyectos de electrificación rural con sistemas fotovoltaicos. Centro de Energías Renovables - Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú. (1998)

Atlas de Energía Solar del Perú, Senamhi y DEP-MEM, Lima, Perú (2003)

Rüther, R., Edificios Solares Fotovoltaicos. Florianopolis, Brazil (2004)

RD N°030-2005 EM/DGE. “Especificaciones Técnicas y Ensayos de los componentes de Sistemas Fotovoltaicos Domésticos hasta 500 Wp”. 2005

MINAGRI, Manual del cálculo de eficiencia para sistemas de riego. Lima, Perú, 2015.

Fundación Chile – Unidad Cropcheck Chile, Manual de recomendaciones Cultivo de Arroz inundado desde siembra. Santiago de Chile, Chile, diciembre 2011.

IDEAM – Estudio Nacional del Agua 2010. Capítulo 5 Estimación de la Demanda De Agua Conceptualización y dimensionamiento de la demanda hídrica sectorial. Colombia, 2010.

CIEMAT; Sistemas de Bombeo Fotovoltaico - Master en Energías Renovables y Mercado Energético Energía Solar Fotovoltaica Escuela de Organización Industrial.

ANEXOS

ANEXO N°01. FICHA TÉCNICA DE LA BOMBA SUMERGIBLE DE LA MARCA PEDROLLO, MODELO 4SR75GM/30.

ANEXO N°02. FICHA TECNICA DE LOS PANELES SOLARES DE LA MARCA CSUN, MODELO CSUN 320-72P.

ANEXO N°03. FICHA TECNICA DEL CONTROLADOR DE BOMBEO SOLAR DE LA MARCA ATERSA, MODELO ESP- 5,5/230-IP54-F050

ANEXO N°04. DIAGRAMA UNIFILAR DE SISTEMA DE BOMBEO FOTOVOLTAICO

-  Agua limpia
(Contenido de arena máximo 150 g/m³)
-  Utilizo doméstico
-  Utilizo civil
-  Utilizo industrial



CAMPO DE PRESTACIONES

- Caudal hasta **450 l/min** (27 m³/h)
- Altura manométrica hasta **425 m**

LIMITES DE UTILIZO

- Temperatura máxima del fluido hasta **+35 °C**
- Contenido de arena máximo **150 g/m³**
- Profundidad de utilizo hasta **100 m** bajo el nivel del agua con cable de alimentación de longitud adecuada
- Funcionamiento:
 - en vertical
 - en horizontal con los siguientes límites:
4SR7G - 4SR10G - 4SR13G - 4SR25G **18 etapas**
4SR33G - 4SR45G - 4SR60G - 4SR75G - 4SR90G **10 etapas**
- Arranques/hora: **20** a intervalos regulares
- Flujo de enfriamiento motor mínimo **8 cm/s**
- Funcionamiento continuo **S1**

EJECUCION Y NORMAS DE SEGURIDAD

MOTOR ELECTRICO

- Monofásica 220 V - 60 Hz
- Trifásica 380 V - 60 Hz

Cable de alimentación de:

- **1.7 m** para potencias de 0.37 a 3 kW
- **2.7 m** para potencias de 4 a 7.5 kW

➡ Las versiones monofásicas **4SR-PD** incluyen el condensador en el interior del embalaje.

EN 60335-1
IEC 60335-1
CEI 61-150

EN 60034-1
IEC 60034-1
CEI 2-3



CERTIFICACIONES

Empresa con sistema de gestión certificado DNV
ISO 9001: CALIDAD
ISO 14001: AMBIENTE



(4SR-HYD)

UTILIZOS E INSTALACIONES

Se aconsejan para bombear agua limpia con contenido de arena no superior a **150 g/m³**. Debido al alto rendimiento y fiabilidad, son aptas para usos en el campo doméstico, civil e industrial, para la distribución del agua en acoplamiento con autoclaves, riegos, instalaciones de lavado, aumento de presión para instalaciones anti-incendio, etc.

PATENTES - MARCAS - MODELOS

- Patente n° EP09781276.2

EJECUCION BAJO PEDIDO

- Cuerpo bomba con bocas roscadas ISO 228/1
- Otros voltajes
- **Kit camisa de enfriamiento completo con filtro y soportes**

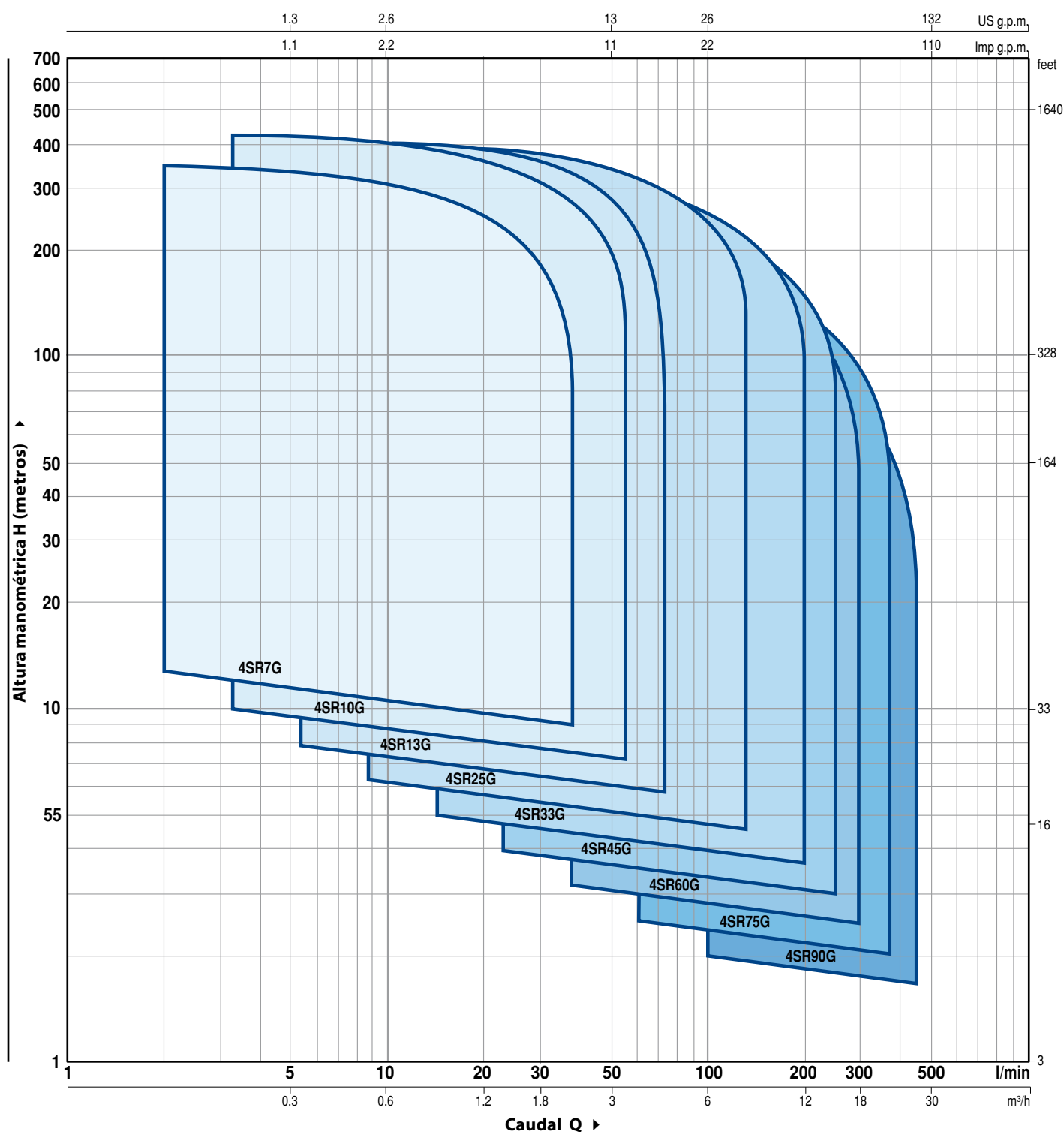


GARANTIA

2 años según nuestras condiciones generales de venta

CAMPO DE PRESTACIONES

60 Hz n= 3450 rpm



NOMENCLATURA

4 SR 7G m / 5 - PD o HYD

Diámetro del pozo en pulgadas _____

Serie _____

Caudal en US g.p.m. en el punto de máximo rendimiento _____

Motor monofásico _____

Potencia motor _____

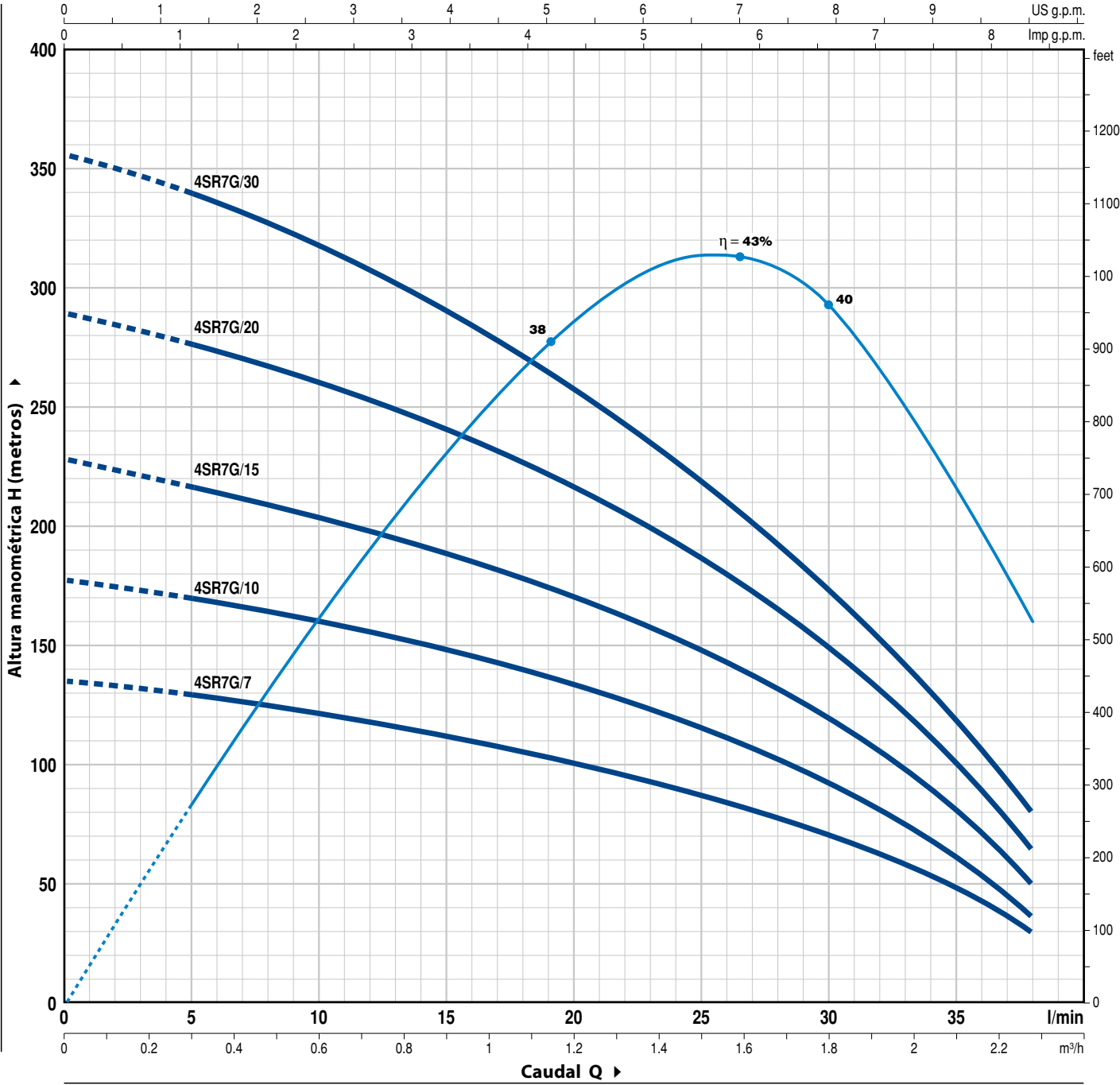
PD: electrobomba con motor "PEDROLLO" _____

HYD: bomba sin motor _____

4SR7G

CURVAS Y DATOS DE PRESTACIONES

60 Hz n= 3450 rpm



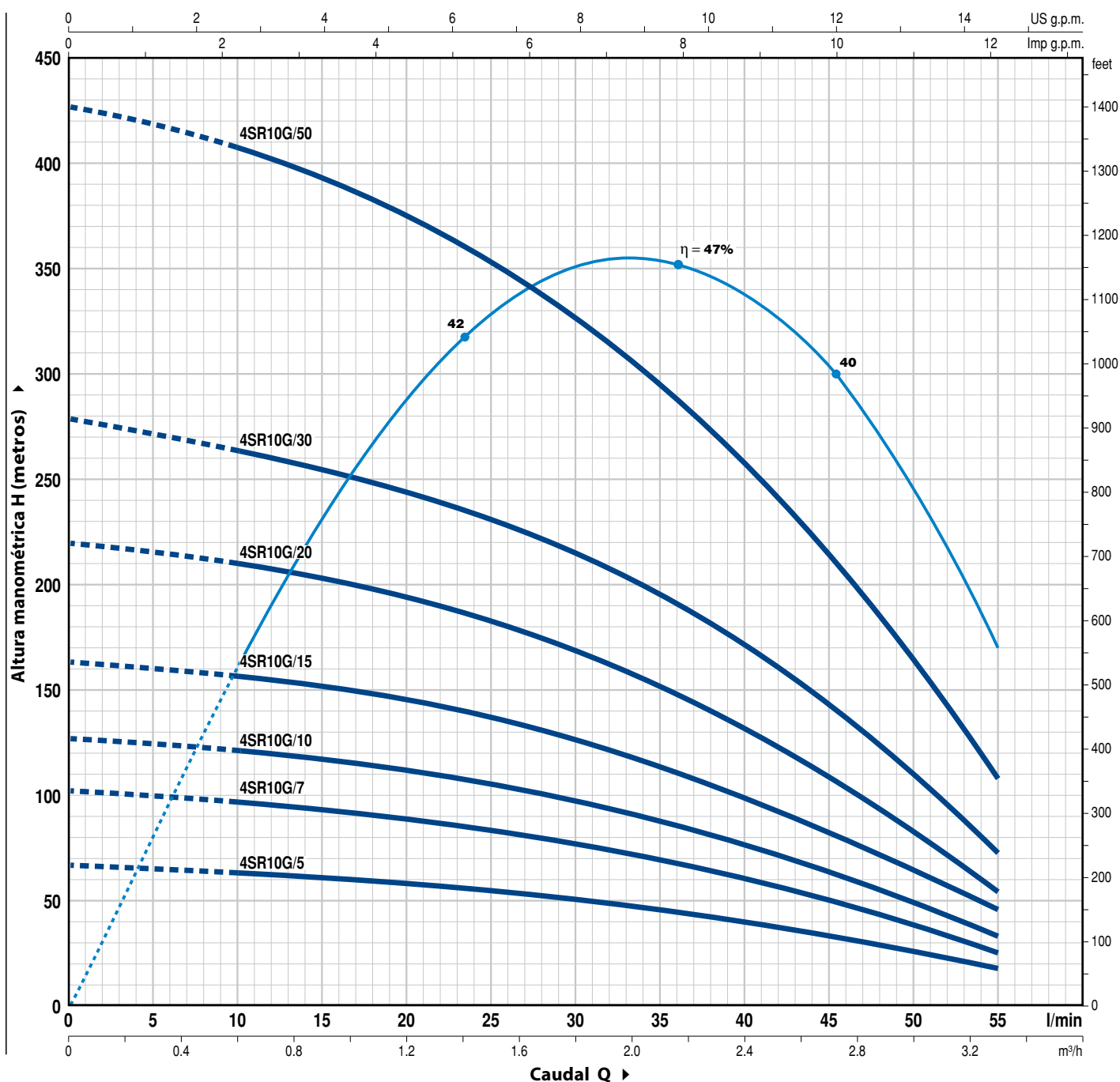
MODELO		POTENCIA (P ₂)		Q	m³/h	0	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.3
Monofásica	Trifásica	kW	HP		l/min	0	5	10	15	20	25	30	35	38
4SR7Gm/7	4SR7G/7	0.55	0.75	H metros		134	129	120	111	101	87	71.5	48.5	30
4SR7Gm/10	4SR7G/10	0.75	1			176	170	158.5	147.5	134	115.5	93	61	36
4SR7Gm/15	4SR7G/15	1.1	1.5			228	216	202.5	189	170.5	149	120	80	50
4SR7Gm/20	4SR7G/20	1.5	2			289	277	260.5	240.5	216	185.5	149	100.5	64
4SR7Gm/30	4SR7G/30	2.2	3			355	340	320	290	257	220	172	120	80

Q = Caudal H = Altura manométrica total

Tolerancia de las curvas de prestación según EN ISO9906 Grado 3B.

CURVAS Y DATOS DE PRESTACIONES

60 Hz n = 3450 rpm



MODELO		POTENCIA (P ₂)		Q											
Monofásica	Trifásica	kW	HP		m³/h	0	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.4	3	3.3
					l/min	0	5	10	15	20	25	30	40	50	55
4SR10Gm/5	4SR10G/5	0.37	0.50	H metros		67	65	63	61	58	54	50	40	27	18
4SR10Gm/7	4SR10G/7	0.55	0.75			102	99	96	93	88	82.5	77.5	62	39	26
4SR10Gm/10	4SR10G/10	0.75	1			128	125	121.5	117	112	105	97.5	78	50	34
4SR10Gm/15	4SR10G/15	1.1	1.5			164	161	157.5	152	145	136.5	128	99.5	65	46
4SR10Gm/20	4SR10G/20	1.5	2			221	216	210	202.5	195	182	169	135	83	55
4SR10Gm/30	4SR10G/30	2.2	3			279	273	265	256	245	231	215	172.5	112	73
—	4SR10G/50	3.7	5			425	420	406.5	393.5	376	353	329	262	162	108

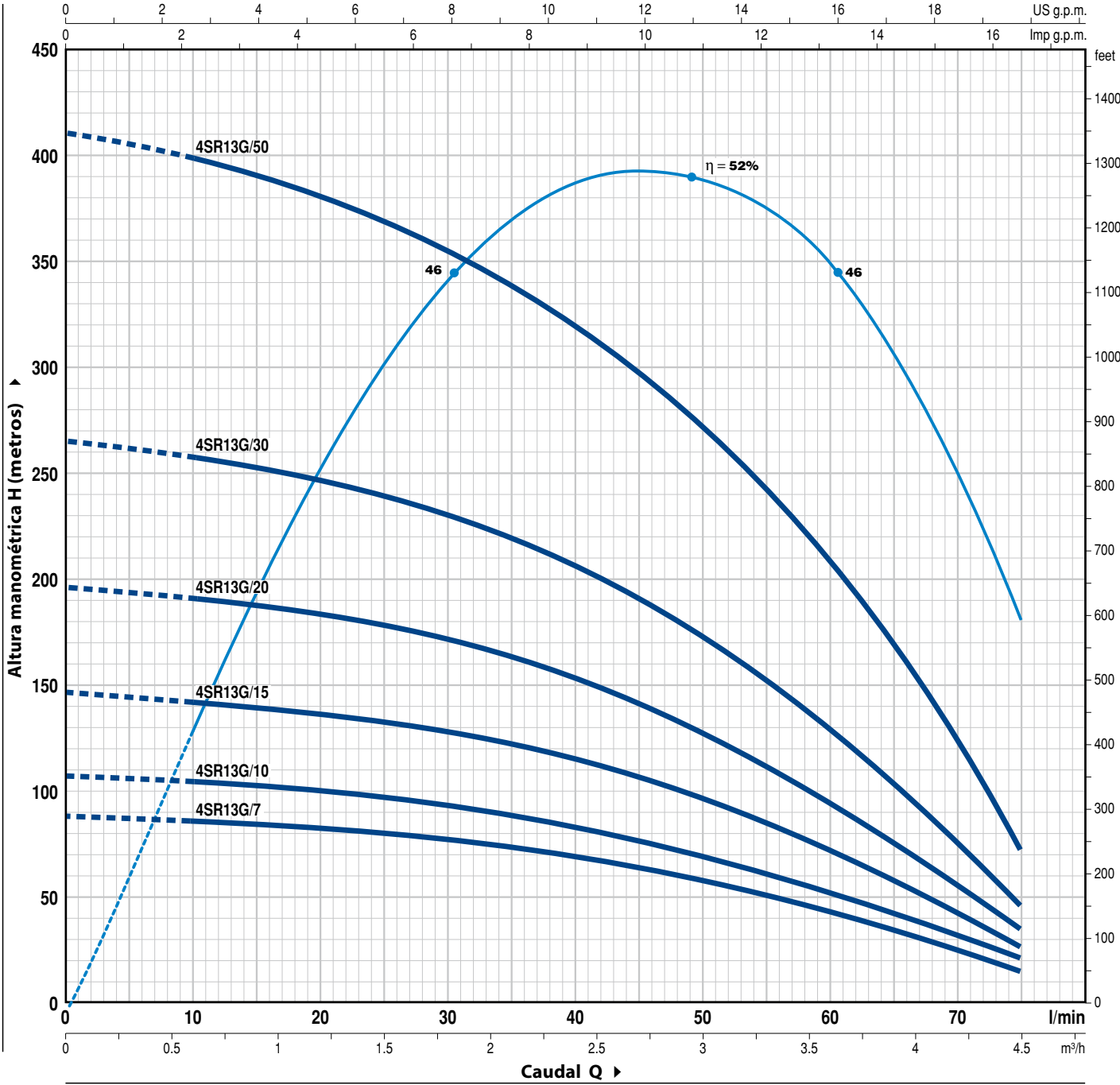
Q = Caudal H = Altura manométrica total

Tolerancia de las curvas de prestación según EN ISO9906 Grado 3B.

4SR13G

CURVAS Y DATOS DE PRESTACIONES

60 Hz n= 3450 rpm



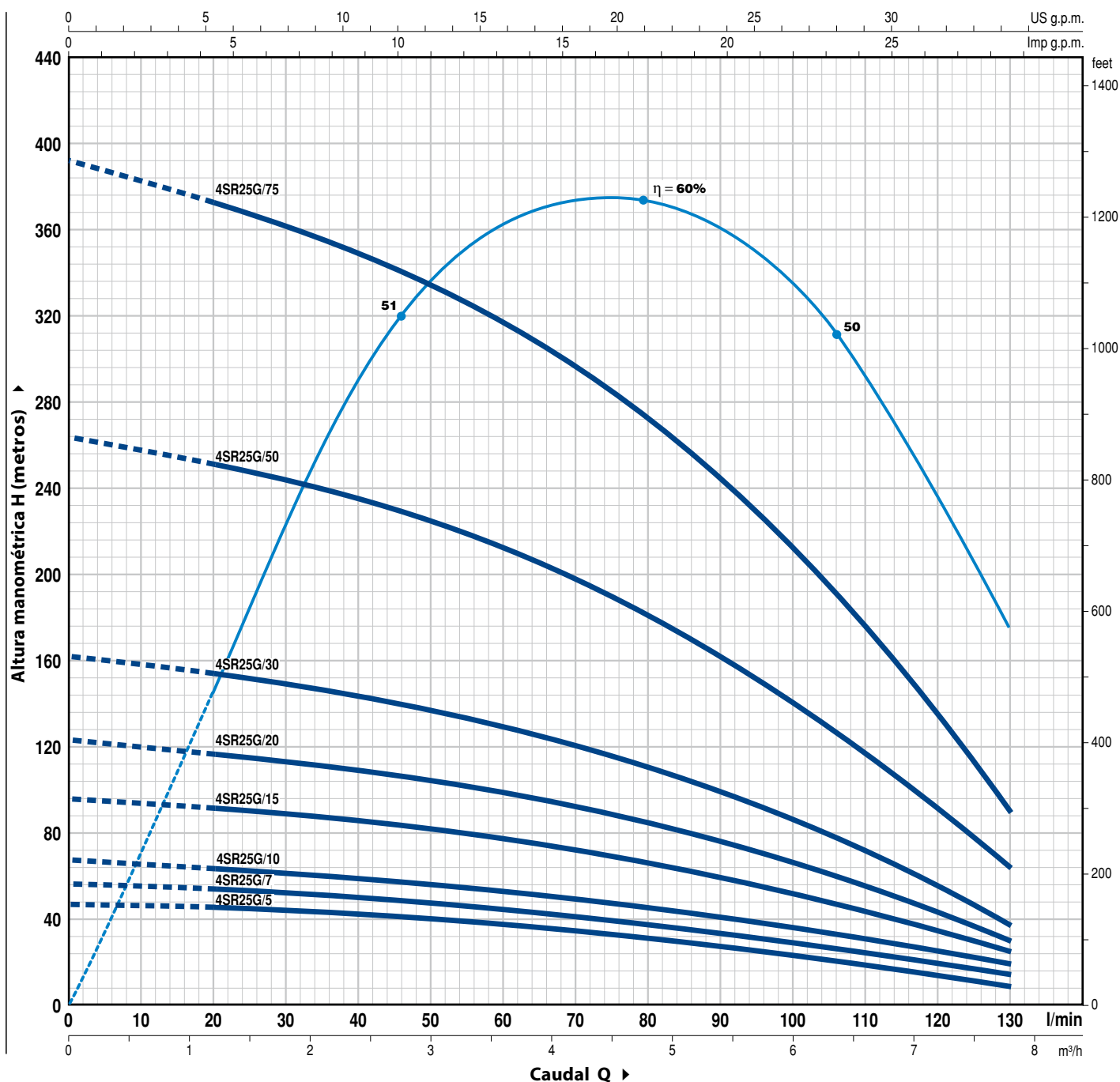
MODELO		POTENCIA (P ₂)		Q	m³/h	0	0.6	0.9	1.2	1.8	2.4	3.0	3.6	4.2	4.5
Monofásica	Trifásica	kW	HP		l/min	0	10	15	20	30	40	50	60	70	75
4SR13Gm/7	4SR13G/7	0.55	0.75	H metros	88	84	83.5	80.5	76	68	59	44	28	17	
4SR13Gm/10	4SR13G/10	0.75	1		108	105	103.5	100	93	82	70	53	34	23	
4SR13Gm/15	4SR13G/15	1.1	1.5		147	142	140	137	128	115	97	71.5	45	28	
4SR13Gm/20	4SR13G/20	1.5	2		196	191	189	185	171	152	127	96	60	36	
4SR13Gm/30	4SR13G/30	2.2	3		265	257	254.5	249	231.5	207	175	128	80	48	
–	4SR13G/50	3.7	5		411	398	390	380	353.8	320	275	207	125	73	

Q = Caudal H = Altura manométrica total

Tolerancia de las curvas de prestación según EN ISO9906 Grado 3B.

CURVAS Y DATOS DE PRESTACIONES

60 Hz n = 3450 rpm



MODELO		POTENCIA (P ₂)		Q	m³/h	0	1.2	2.4	3.6	4.8	6	7.2	7.8
Monofásica	Trifásica	kW	HP		l/min	0	20	40	60	80	100	120	130
4SR25Gm/5	4SR25G/5	0.37	0.50	H metros		45	43	42	36.5	30	22	13.5	8
4SR25Gm/7	4SR25G/7	0.55	0.75			56	52	49	44	37	29	19	13
4SR25Gm/10	4SR25G/10	0.75	1			65	61	57	51	44	36	25	19
4SR25Gm/15	4SR25G/15	1.1	1.5			94	88	81	74.5	64	51	35	25
4SR25Gm/20	4SR25G/20	1.5	2			122	115	108	97.5	84	64	42.5	30
4SR25Gm/30	4SR25G/30	2.2	3			160	154	142	128	108	86	55	38
–	4SR25G/50	3.7	5			262	250	234	212	181	140	92	64
–	4SR25G/75	5.5	7.5			391	373	349	317	272	211	135	90

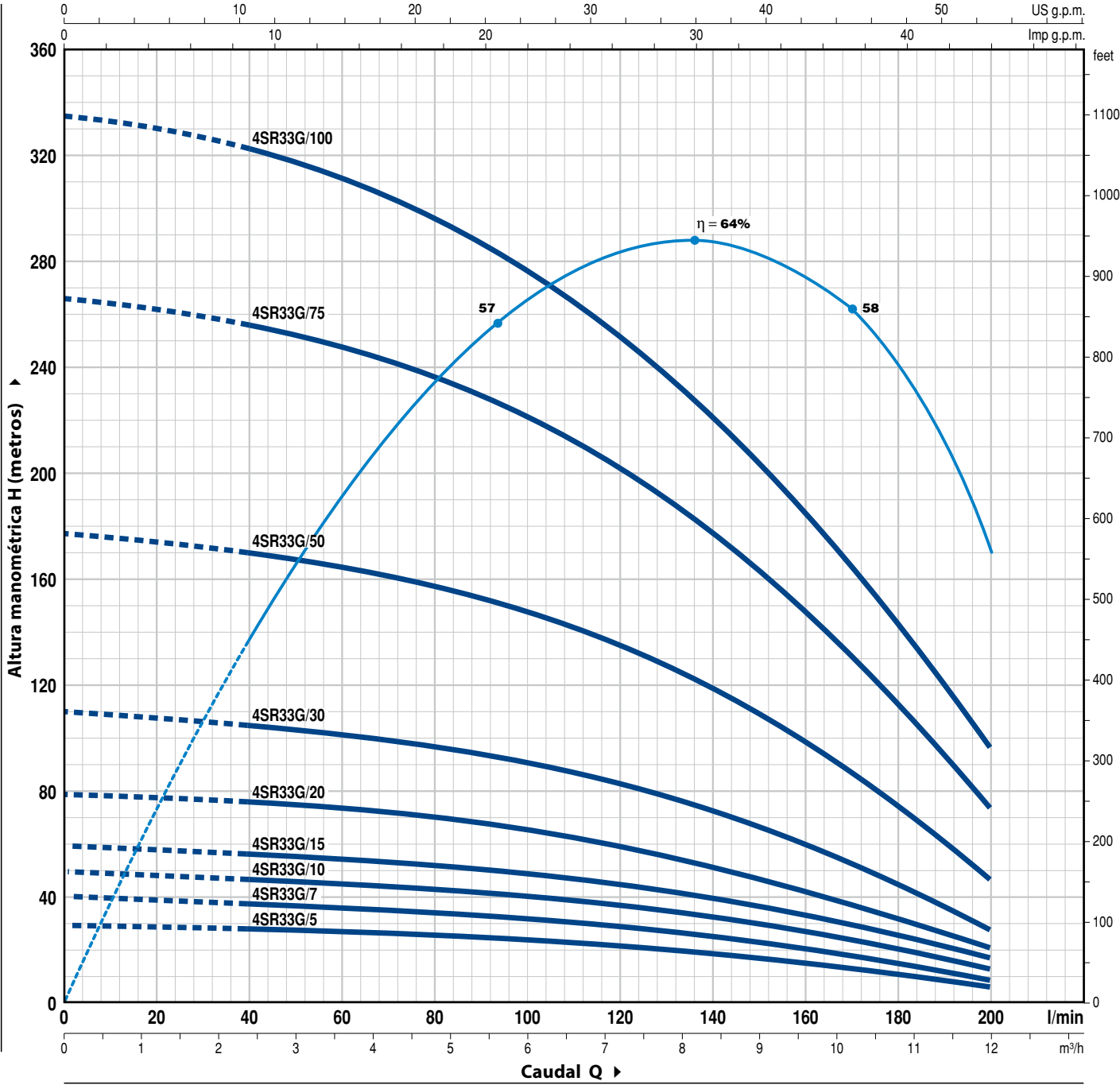
Q = Caudal H = Altura manométrica total

Tolerancia de las curvas de prestación según EN ISO9906 Grado 3B.

4SR33G

CURVAS Y DATOS DE PRESTACIONES

60 Hz n= 3450 rpm



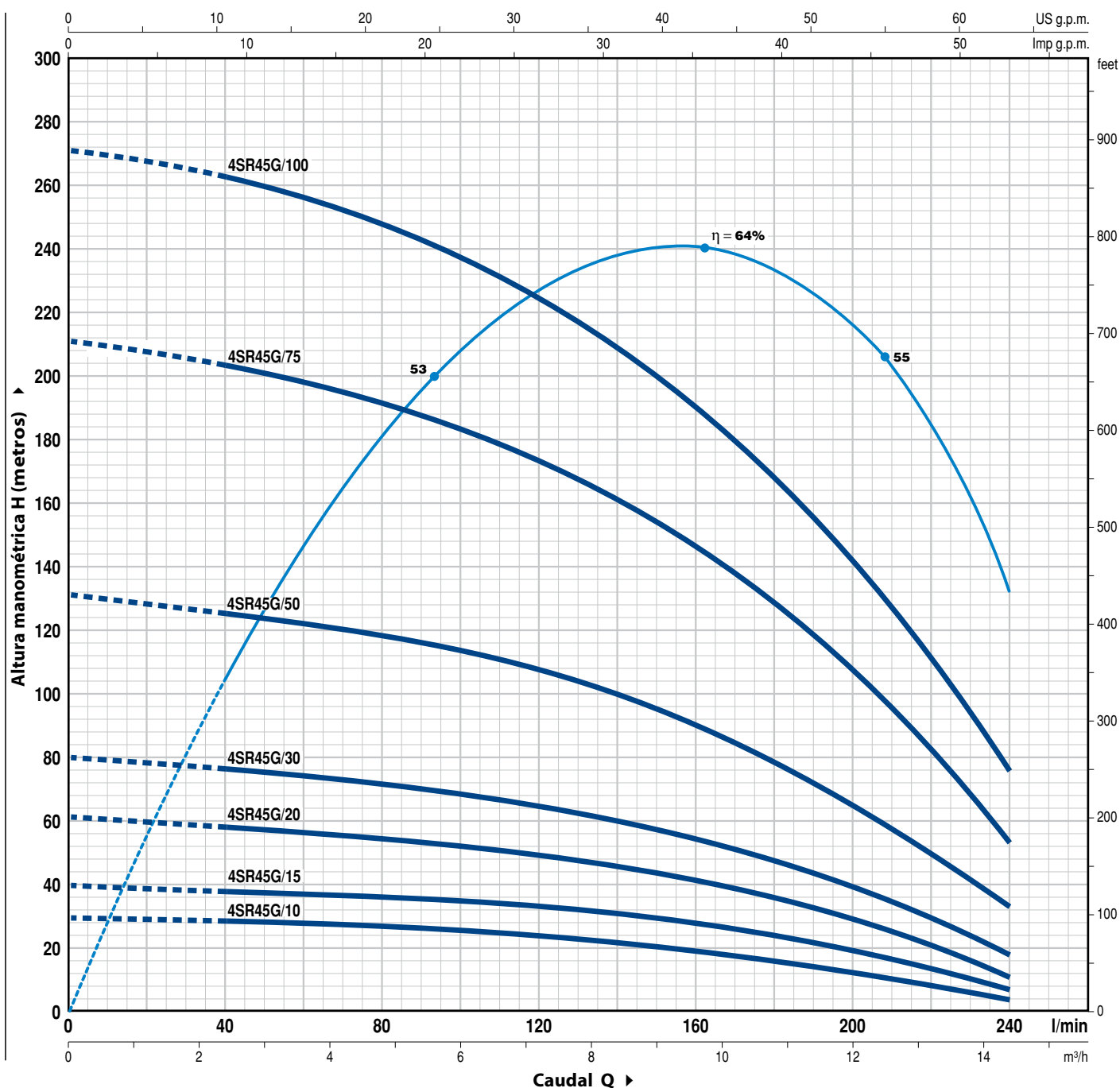
MODELO		POTENCIA (P ₂)		Q	m³/h	0	2.4	3.6	4.8	6	7.2	8.4	9.6	10.8	12
Monofásica	Trifásica	kW	HP		l/min	0	40	60	80	100	120	140	160	180	200
4SR33Gm/5	4SR33G/5	0.37	0.50	H metros	30	28	27	25	23.5	21.5	19	16	12.5	7	
4SR33Gm/7	4SR33G/7	0.55	0.75		41	38	36	34.5	32.5	30	25.5	21.5	16.5	10	
4SR33Gm/10	4SR33G/10	0.75	1		50	47	45	43	41.5	38	33	28	21	14	
4SR33Gm/15	4SR33G/15	1.1	1.5		60	56	54	51.5	49	45	40	33	25	17	
4SR33Gm/20	4SR33G/20	1.5	2		79	76	73	70.5	65.5	59.5	52	43	33	22	
4SR33Gm/30	4SR33G/30	2.2	3		110	105	101	97	90	83	73	60	46	29	
–	4SR33G/50	3.7	5		177	170	165	158	147	135	118	98	76	48	
–	4SR33G/75	5.5	7.5		265	257	248	236	222	204	179	148	112	75	
–	4SR33G/100	7.5	10		335	322	312	297	280	254	224	185	142	96	

Q = Caudal H = Altura manométrica total

Tolerancia de las curvas de prestación según EN ISO9906 Grado 3B.

CURVAS Y DATOS DE PRESTACIONES

60 Hz n = 3450 rpm



MODELO		POTENCIA (P ₂)		Q	m³/h	0	2.4	4.8	7.2	9.6	12.0	14.4
Monofásica	Trifásica	kW	HP									
4SR45Gm/10	4SR45G/10	0.75	1	H metros	0	0	40	80	120	160	200	240
4SR45Gm/15	4SR45G/15	1.1	1.5		30	28	26	24	20	15	6	
4SR45Gm/20	4SR45G/20	1.5	2		40	39	36	33.5	28.5	20	9	
4SR45Gm/30	4SR45G/30	2.2	3		61	57	54	50	42.5	31.5	12	
—	4SR45G/50	3.7	5		79	76	73	65	55	41.5	19	
—	4SR45G/75	5.5	7.5		131	126	120	107	91	67	34	
—	4SR45G/100	7.5	10		210	204	191	173	149	109	54	
					270	262	249	226	192	140	76	

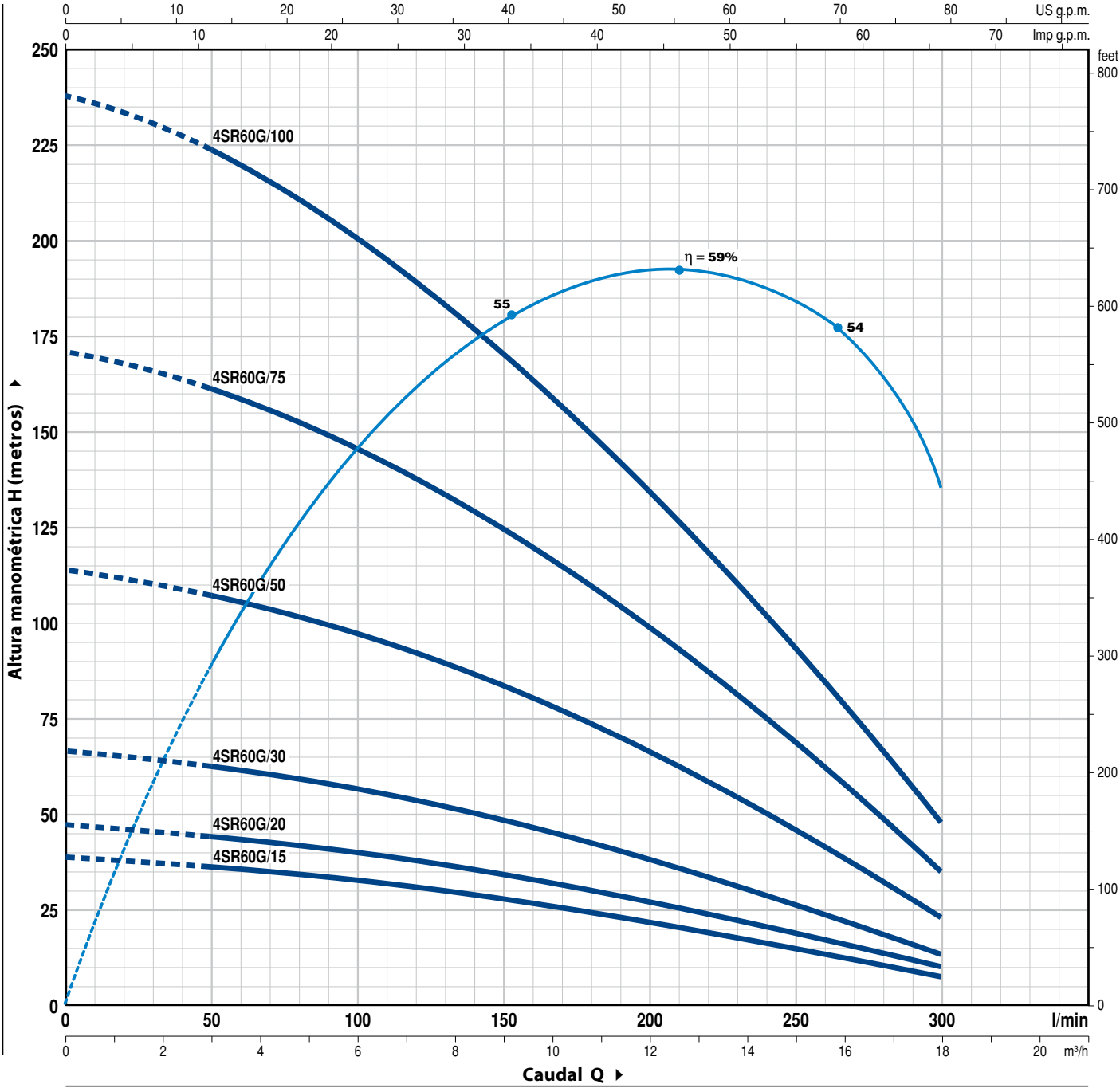
Q = Caudal H = Altura manométrica total

Tolerancia de las curvas de prestación según EN ISO9906 Grado 3B.

4SR60G

CURVAS Y DATOS DE PRESTACIONES

60 Hz n= 3450 rpm

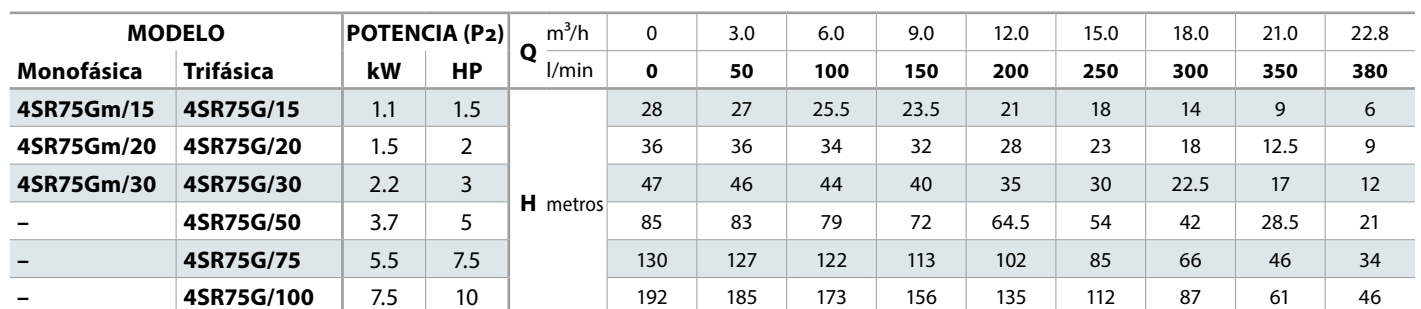


MODELO		POTENCIA (P ₂)		Q	m³/h	0	3.0	6.0	9.0	12.0	15.0	18.0
Monofásica	Trifásica	kW	HP		l/min	0	50	100	150	200	250	300
4SR60Gm/15	4SR60G/15	1.1	1.5	H metros	38	36	32	28	22	15	8	
4SR60Gm/20	4SR60G/20	1.5	2		47	44	39,5	34	27.5	19	10	
4SR60Gm/30	4SR60G/30	2.2	3		66	63	56	47.5	38	27	14	
–	4SR60G/50	3.7	5		114	108	97	83	66	46	23	
–	4SR60G/75	5.5	7.5		171	161	146	124	98	68	35	
–	4SR60G/100	7.5	10		238	224	201	172	134	93	48	

Q = Caudal H = Altura manométrica total

Tolerancia de las curvas de prestación según EN ISO9906 Grado 3B.

60 Hz n= 3450 rpm

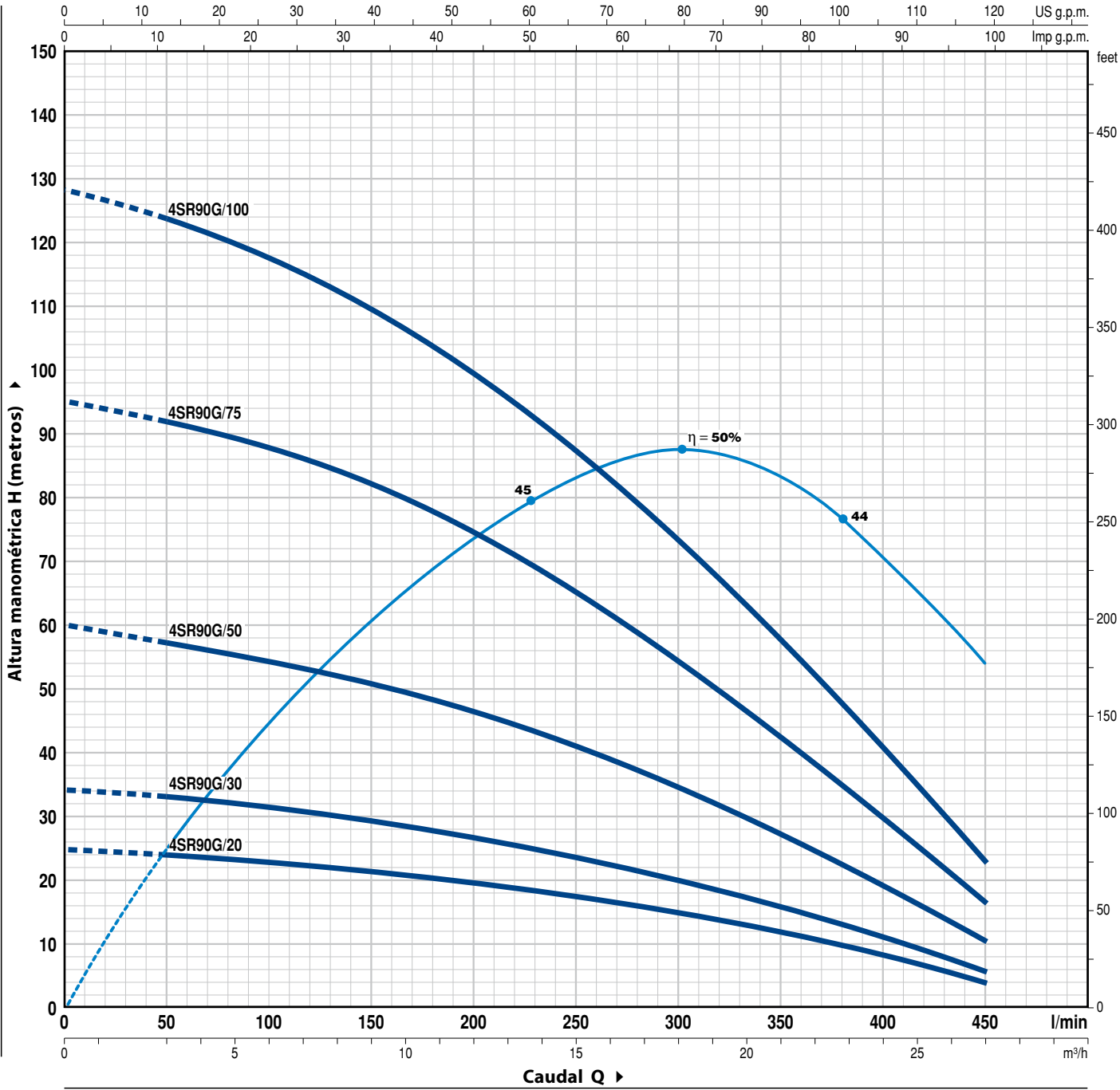


Tolerancia de las curvas de prestación según EN ISO9906 Grado 3B.

4SR90G

CURVAS Y DATOS DE PRESTACIONES

60 Hz n= 3450 rpm



MODELO		POTENCIA (P ₂)		Q	m³/h	0	3.0	6.0	9.0	12.0	15.0	18.0	21.0	24.0	27.0
Monofásica	Trifásica	kW	HP		l/min	0	50	100	150	200	250	300	350	400	450
4SR90Gm/20	4SR90G/20	1.5	2	H metros	25	24	23	22	20	18	15	12	8	4	
4SR90Gm/30	4SR90G/30	2.2	3		34	33	32	30	27	24	20	16	11	6	
–	4SR90G/50	3.7	5		60	58	54	50	47	42	34	26	18	11	
–	4SR90G/75	5.5	7.5		95	92	88	83	75	66	56	42	29	17	
–	4SR90G/100	7.5	10		128	124	117	110	100	88	74	57	40	23	

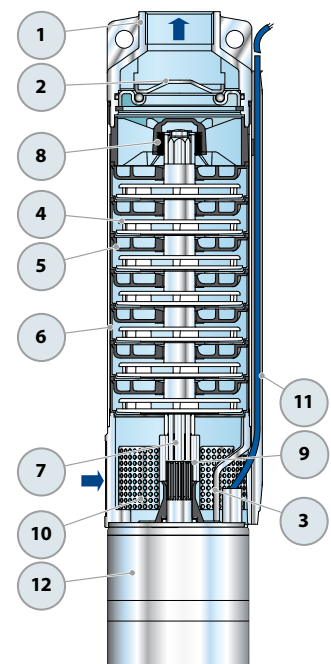
Q = Caudal H = Altura manométrica total

Tolerancia de las curvas de prestación según EN ISO9906 Grado 3B.

POS. COMPONENTE

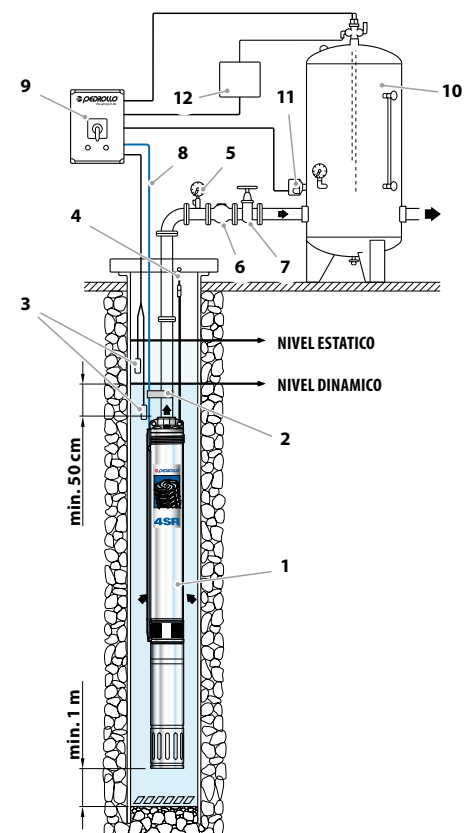
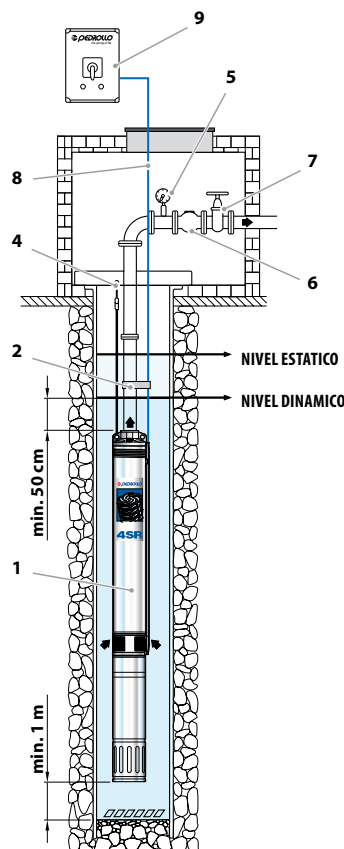
CARACTERISTICAS CONSTRUCTIVAS

1	CUERPO DE IMPULSION	Acero inoxidable micro fundido AISI 304 dotado de boca de impulsión roscada NPT ANSI B 1.20.1
2	VALVULA DE RETENCION	Acero inoxidable AISI 304
3	SOPORTE	Acero inoxidable AISI 304, dimensiones según norma NEMA
4	RODETE	Lexan 141-R
5	DIFUSOR	Noryl FE1520PW
6	CAJA PORTA DIFUSOR	Acero inoxidable AISI 304
7	EJE BOMBA	Acero inoxidable AISI 304
8	RODAMIENTOS BOMBA	Parte fija en tecnopolímero especial y parte rotatoria en acero inoxidable AISI 316 revestida de óxido de cromo para resistir a la arena
9	CASQUILLO	Acero inoxidable AISI 316L hasta 2.2 kW; Acero inoxidable AISI 304 para potencias superiores
10	FILTRO	Acero inoxidable AISI 304
11	PROTECTOR CABLE	Acero inoxidable AISI 304
12	MOTOR 4"	4PD = motor en baño de aceite "PEDROLLO"



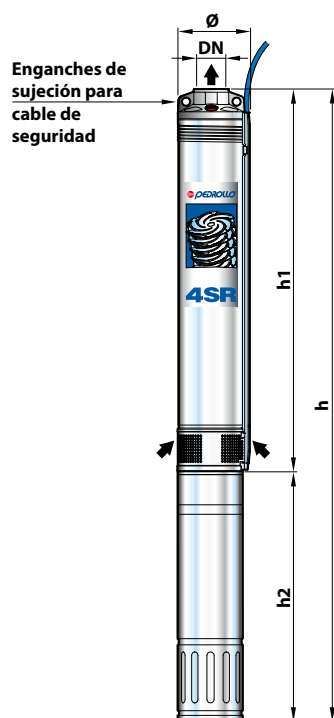
EJEMPLO DE INSTALACION

- 1) Electrobomba sumergida
- 2) Cintas para fijar el cable de alimentación
- 3) Sondas control nivel contra la marcha en seco
- 4) Soporte y cable de anclaje
- 5) Manómetro
- 6) Válvula de retención
- 7) Válvula de compuerta del caudal
- 8) Cable de alimentación eléctrica
- 9) Cuadro eléctrico
- 10) Depósito autoclave
- 11) Presóstato
- 12) Electro-válvula/electro-compresor



➡ La instalación de las electrobombas **4SR** es apta para pozos con un diámetro no inferior a 4" (100 mm). La electrobomba sumergida se baja al pozo mediante el tubo de impulsión hasta una profundidad tal que garantice su total inmersión (min. 50 cm y por lo menos 1 metro desde el fondo del pozo) incluso mientras funciona, cuando se aprecia una disminución del líquido en el pozo. Cuando la electrobomba sumergida se instala en un pozo, se aconseja asegurarla con un cable de acero inoxidable para conectarla a los específicos enganches de la boca de impulsión.

DIMENSIONES Y PESOS



MODELO	BOCA	N°	DIMENSIONES mm				kg
Monofásica	DN	ETAPAS	Ø	h1	h2	h	1~
4SR7G/7 - PD	1 1/4"	16	98	455	356	811	13.9
4SR7G/10 - PD		21		572	371	943	16.8
4SR7G/15 - PD		27		684	386	1070	19.1
4SR7G/20 - PD		34		913	436	1349	22.5
4SR7G/30 - PD		42		1060	481	1541	27.3
4SR10G/5 - PD		7		290	331	621	10.8
4SR10G/7 - PD		11		364	356	720	12.9
4SR10G/10 - PD		14		419	371	790	15.2
4SR10G/15 - PD		18		517	386	903	17.2
4SR10G/20 - PD		24		628	436	1064	18.9
4SR10G/30 - PD		30		764	481	1245	23.5
4SR13G/7 - PD		9		327	356	683	12.5
4SR13G/10 - PD		11		364	371	735	14.6
4SR13G/15 - PD		15		437	386	823	16.6
4SR13G/20 - PD		20		554	436	990	18.7
4SR13G/30 - PD		27		683	481	1164	22.6
4SR25G/5 - PD		5		270	331	601	10.5
4SR25G/7 - PD		6		292	356	648	12.1
4SR25G/10 - PD		7		314	371	685	14.0
4SR25G/15 - PD		10		380	386	766	15.8
4SR25G/20 - PD		13		446	436	882	16.9
4SR25G/30 - PD		17		558	481	1039	21.2
4SR33G/5 - PD	2"	3	98	251	331	582	10.8
4SR33G/7 - PD		4		281	356	637	12.2
4SR33G/10 - PD		5		311	371	682	14.1
4SR33G/15 - PD		6		341	386	727	15.3
4SR33G/20 - PD		8		401	436	837	16.2
4SR33G/30 - PD		11		516	481	997	20.4
4SR45G/10 - PD		3		251	371	622	13.5
4SR45G/15 - PD		4		281	386	667	14.8
4SR45G/20 - PD		6		341	436	777	15.7
4SR45G/30 - PD		8		401	481	882	19.4
4SR60G/15 - PD		4		365	386	751	15.3
4SR60G/20 - PD		5		416	436	852	16.1
4SR60G/30 - PD		7		518	481	999	20.2
4SR75G/15 - PD		3		314	386	700	14.9
4SR75G/20 - PD		4		365	436	801	15.7
4SR75G/30 - PD		5		416	481	897	19.3
4SR90G/20 - PD		3		317	436	753	15.4
4SR90G/30 - PD		4		369	481	850	19.0

MODELO	BOCA	N°	DIMENSIONES mm				kg
Trifásica	DN	ETAPAS	Ø	h1	h2	h	3~
4SR7G/7 - PD	1 1/4"	16	98	455	331	786	12.6
4SR7G/10 - PD		21		572	356	928	15.1
4SR7G/15 - PD		27		684	371	1055	17.2
4SR7G/20 - PD		34		913	386	1299	21.0
4SR7G/30 - PD		42		1060	436	1496	24.1
4SR10G/5 - PD		7		290	311	601	10.1
4SR10G/7 - PD		11		364	331	695	11.6
4SR10G/10 - PD		14		419	356	775	13.5
4SR10G/15 - PD		18		517	371	888	15.3
4SR10G/20 - PD		24		628	386	1014	17.4
4SR10G/30 - PD		30		764	436	1200	20.3
4SR10G/50 - PD		46		1134	610	1744	33.3
4SR13G/7 - PD		9		327	331	658	11.2
4SR13G/10 - PD		11		364	356	720	12.9
4SR13G/15 - PD		15		437	371	808	14.7
4SR13G/20 - PD		20		554	386	940	17.2
4SR13G/30 - PD		27		683	436	1119	19.4
4SR13G/50 - PD		42		1060	610	1670	32.5
4SR25G/5 - PD		5		270	311	581	9.8
4SR25G/7 - PD		6		292	331	623	10.8
4SR25G/10 - PD		7		314	356	670	12.3
4SR25G/15 - PD		10		380	371	751	13.9
4SR25G/20 - PD		13		446	386	832	15.4
4SR25G/30 - PD		17		558	436	994	18.0
4SR25G/50 - PD		28		800	610	1410	28.9
4SR25G/75 - PD		42		1207	700	1907	38.6
4SR25G/100 - PD		54		1520	800	2320	46.8
4SR33G/5 - PD	2"	3	98	251	311	562	10.1
4SR33G/7 - PD		4		281	331	612	10.9
4SR33G/10 - PD		5		311	356	667	12.4
4SR33G/15 - PD		6		341	371	712	13.4
4SR33G/20 - PD		8		401	386	787	14.7
4SR33G/30 - PD		11		516	436	952	17.2
4SR33G/50 - PD		18		726	610	1336	27.6
4SR33G/75 - PD		27		1019	700	1719	35.3
4SR33G/100 - PD		34		1305	800	2105	44.7
4SR45G/10 - PD		3		251	356	607	11.8
4SR45G/15 - PD		4		281	371	652	12.9
4SR45G/20 - PD		6		341	386	727	14.2
4SR45G/30 - PD		8		401	436	837	16.2
4SR45G/50 - PD		13		576	610	1186	26.2
4SR45G/75 - PD		21		840	700	1540	33.3
4SR45G/100 - PD		27		1019	800	1819	39.6
4SR60G/15 - PD		4		365	371	736	13.4
4SR60G/20 - PD		5		416	386	802	14.6
4SR60G/30 - PD		7		518	436	954	17.0
4SR60G/50 - PD		12		810	610	1420	28.1
4SR60G/75 - PD		18		1154	700	1854	35.7
4SR60G/100 - PD		25		1548	800	2348	44.1
4SR75G/15 - PD	2"	3	98	314	371	685	13.0
4SR75G/20 - PD		4		365	386	751	14.2
4SR75G/30 - PD		5		416	436	852	16.1
4SR75G/50 - PD		9		658	610	1268	26.7
4SR75G/75 - PD		14		950	700	1650	33.6
4SR75G/100 - PD		19		1206	800	2006	40.2
4SR90G/20 - PD		3		317	386	703	13.9
4SR90G/30 - PD		4		369	436	805	15.8
4SR90G/50 - PD		7		525	610	1135	25.4
4SR90G/75 - PD		11		770	700	1470	32.2
4SR90G/100 - PD		15		1016	800	1816	38.5

4SR-HYD

DIMENSIONES Y PESOS (SOLO HIDRAULICA)



MODELO Hidraulica	BOCA DN	N° ETAPAS	DIMENSIONES mm			kg
			Ø	h1	h	
4SR7G/7 - HYD	1 1/4"	16	98	455	458	5.4
4SR7G/10 - HYD		21		572	575	6.6
4SR7G/15 - HYD		27		684	687	7.8
4SR7G/20 - HYD		34		913	916	10.8
4SR7G/30 - HYD		42		1060	1063	12.4
4SR10G/5 - HYD		7		290	293	3.6
4SR10G/7 - HYD		11		364	367	4.4
4SR10G/10 - HYD		14		419	422	5.0
4SR10G/15 - HYD		18		517	520	5.9
4SR10G/20 - HYD		24		628	631	7.2
4SR10G/30 - HYD		30		764	767	8.6
4SR10G/50 - HYD		46		1134	1137	13.2
4SR13G/7 - HYD		9		327	330	4.0
4SR13G/10 - HYD		11		364	367	4.4
4SR13G/15 - HYD		15		437	440	5.3
4SR13G/20 - HYD		20		554	557	7.0
4SR13G/30 - HYD		27		683	686	7.7
4SR13G/50 - HYD		42		1060	1063	12.4
4SR25G/5 - HYD		5		270	273	3.3
4SR25G/7 - HYD		6		292	295	3.6
4SR25G/10 - HYD		7		314	317	3.8
4SR25G/15 - HYD	2"	10		380	383	4.5
4SR25G/20 - HYD		13		446	449	5.2
4SR25G/30 - HYD		17		558	561	6.3
4SR25G/50 - HYD		28		800	803	8.8
4SR25G/75 - HYD		42		1207	1210	13.9
4SR25G/100 - HYD		54		1520	1523	17.8
4SR33G/5 - HYD		3		251	254	3.6
4SR33G/7 - HYD		4		281	284	3.7
4SR33G/10 - HYD		5		311	314	3.9
4SR33G/15 - HYD		6		341	344	4.0
4SR33G/20 - HYD		8		401	404	4.5
4SR33G/30 - HYD		11		516	519	5.5
4SR33G/50 - HYD		18		726	729	7.5
4SR33G/75 - HYD		27		1019	1022	10.6
4SR33G/100 - HYD		34		1305	1308	15.7
4SR45G/10 - HYD		3		251	254	3.3
4SR45G/15 - HYD		4		281	284	3.5
4SR45G/20 - HYD		6		341	344	4.0
4SR45G/30 - HYD		8		401	404	4.5
4SR45G/50 - HYD		13		576	579	6.1
4SR45G/75 - HYD		21		840	843	8.6
4SR45G/100 - HYD		27		1019	1022	10.6
4SR60G/15 - HYD	2"	4		365	368	4.0
4SR60G/20 - HYD		5		416	419	4.4
4SR60G/30 - HYD		7		518	521	5.3
4SR60G/50 - HYD		12		810	813	8.0
4SR60G/75 - HYD		18		1154	1157	11.0
4SR60G/100 - HYD		25		1548	1551	15.1
4SR75G/15 - HYD		3		314	317	3.6
4SR75G/20 - HYD		4		365	368	4.0
4SR75G/30 - HYD		5		416	419	4.4
4SR75G/50 - HYD		9		658	661	6.6
4SR75G/75 - HYD		14		950	953	8.9
4SR75G/100 - HYD		19		1206	1209	11.2
4SR90G/20 - HYD		3		317	320	3.7
4SR90G/30 - HYD		4		369	372	4.1
4SR90G/50 - HYD		7		525	528	5.3
4SR90G/75 - HYD		11		770	773	7.5
4SR90G/100 - HYD		15		1016	1019	9.5

Poly

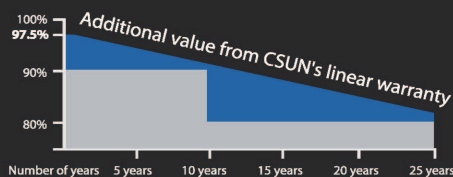


Powerguard Insurance Global Coverage

The power output shall not be less than 97.5% of the minimum power output stated in the product data sheet in the first year of the product's life cycle. The loss of power output shall not exceed 0.7% per year thereafter, ending with 80.7% in the 25th year.

■ CSUN ■ Standard warranty

CSUN's NEW linear performance warranty



CSUN320-72P

Premier choice for large scale project

Module Fire Performance: Type 1 (UL 1703)

Fire Resistance Rating: Class C (IEC 61730)

CSUN320-72P CSUN315-72P

CSUN310-72P CSUN305-72P

CSUN300-72P

16.52%
Module efficiency

320 W
Highest power output

10 years
Material & workmanship warranty

25 years
Linear power output warranty



Industry leading conversion efficiency



Positive tolerance offer



Passed salt mist & ammonia corrosion, blowing sand and hail testing



Certificated to withstand wind (2400 Pa) and snow load (5400 Pa)



Excellent performance under weak light condition



Good temperature coefficient enables better output in hot climates

- China Sunergy Co., Ltd. designs, manufactures and delivers high efficiency solar cells and modules to the world from its production centers based in China, Turkey, South Korea and Vietnam.
- Founded in 2004, China Sunergy is well known for its advanced solar cell technology, reliable product quality, and excellent customer service.
- As one of leading PV enterprises, China Sunergy has delivered more than 4.0GW of solar products to residential, commercial, utility and off-grid projects all around the world.

* Note: All specifications, warranties, certifications about module of „CSUN“ series also apply to that of „SST“.

All information and data are subject to change without notice and are provided without liability.



www.csun-solar.com



All rights reserved by CSUN
Version 2/2014-ENG

Electrical Characteristics at Standard Test Conditions (STC)

Module Type	CSUN 320-72P	CSUN 315-72P	CSUN 310-72P	CSUN 305-72P	CSUN 300-72P
Maximum Power - P _{mpp} (W)	320	315	310	305	300
Positive Power Tolerance	0~3%	0~3%	0~3%	0~3%	0~3%
Open Circuit Voltage - Voc (V)	45.0	44.9	44.8	44.7	44.5
Short Circuit Current - Isc (A)	9.17	9.11	9.03	8.97	8.91
Maximum Power Voltage - V _{mpp} (V)	36.2	36.1	36.0	35.9	35.8
Maximum Power Current - I _{mpp} (A)	8.84	8.73	8.61	8.50	8.37
Module Efficiency	16.52%	16.27%	16.01%	15.75%	15.49%

Electrical data relates to standard test conditions (STC): Irradiance 1000W/m²; AM 1.5; cell temperature 25°C measuring uncertainty of power is within ±3%. Certified in accordance with IEC61215, IEC61730-1/2 and UL 1703

Electrical Characteristics at Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)

Module Type	CSUN 320-72P	CSUN 315-72P	CSUN 310-72P	CSUN 305-72P	CSUN 300-72P
Maximum Power - P _{mpp} (W)	235	232	228	225	220
Maximum Power Voltage - V _{mpp} (V)	34.1	33.8	33.5	33.2	32.9
Maximum Power Current - I _{mpp} (A)	6.89	6.86	6.80	6.77	6.71
Open Circuit Voltage - Voc (V)	41.6	41.5	41.4	41.3	41.1
Short Circuit Current - Isc (A)	7.40	7.34	7.30	7.24	7.19

Electrical data relates to nominal operating cell temperature (NOCT): Irradiance 800W/m²; wind speed 1 m/s; cell temperature 45°C; ambient temperature 20°C measuring uncertainty of power is within ±3%.

Temperature Characteristics

Voltage Temperature Coefficient	-0.292%/K
Current Temperature Coefficient	+0.045%/K
Power Temperature Coefficient	-0.408%/K

Maximum Ratings

Maximum System Voltage (V)	1000
Series Fuse Rating (A)	20
Reverse Current Overload (A)	27

Mechanical Characteristics

Dimensions	1956 × 990 × 50 mm
Weight	22.3 kg
Frame	Anodized aluminum profile
Front glass	Toughened low iron glass, 3.2 mm
Cell Encapsulation	EVA (Ethylene-Vinyl-Acetate)
Back Sheet	Composite film
Cells	6x12 polycrystalline solar cells (4BB or 5BB 156 X156mm)
Junction Box	Rated current ≥ 12A, IP ≥ 65, TUV & UL
Cable	Length 900 mm, 1 × 4 mm ²
Connector	MC 4/ compatible with MC 4

Packaging

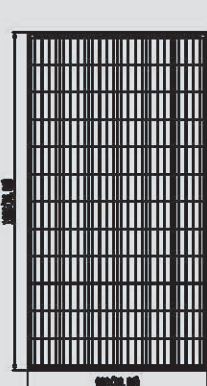
Container 20'	252 pcs.
Container 40'	504 pcs.
Container 40'HC	552 pcs.

System Design

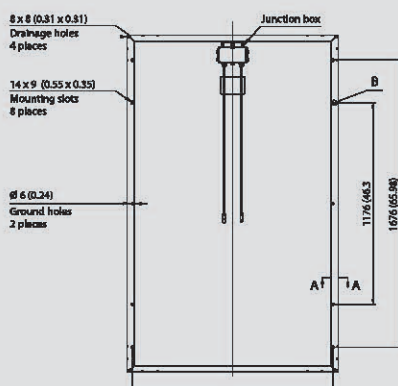
Temp. Range	-40°C to +85°C
Hail	Max. diameter of 25mm with 23m/s impact speed
Max. Capacity	Snow 5400 Pa, wind 2400 Pa
Application Class	A
Safety Class	II

Dimensions

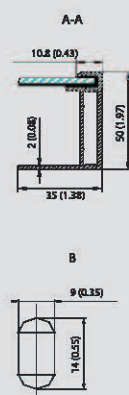
Note: mm (inch)



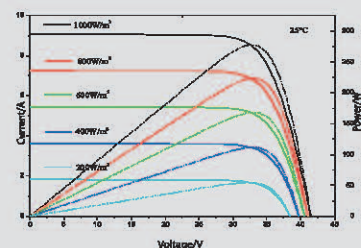
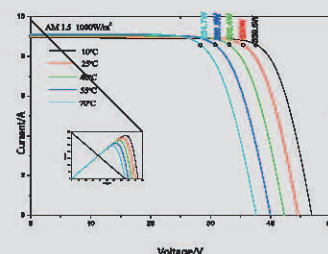
FRONT VIEW



BACK VIEW



IV-Curves



ESP 5,5 / 230

Modelo	Código
ESP- 5,5/230-IP20-F050 hasta 50m	3503104
ESP- 5,5/230-IP54-F050 hasta 50m	3503149
ESP- 5,5/230-IP20-F200 hasta 200m	3503127
ESP- 5,5/230-IP54-F200 hasta 200m	3503172

Opciones	Código
Filtro hasta 1000m *	7912115
Sensor de presión **	7404014

* El filtro senoidal se monta en la salida AC del variador fuera del cuadro.

** Bornas de conexión y cableado del sensor de presión.

Características Eléctricas

Referencia Variador	FRN0020E2S-2GA
Potencia nominal del Variador (1)	5,5 kW
Tensión de Salida Trifásica	230 Vac
Potencia máxima motor	7,5 CV
Máxima corriente de Salida	19,6 A
Capacidad de sobrecarga durante 60/0,5 seg	150/200 %
Temperatura ambiente	50 °C
Tolerancia tensión de alimentación Auxiliar AC	+10 -15 %
Frecuencia de alimentación Auxiliar AC	50 Hz
Tolerancia frecuencia de alimentación Auxiliar AC	± 5% %
Tensión Entrada Auxiliar AC (2)	230 V
Eficiencia	97-98 %

(1) Ajustar la potencia en kW del Variador por encima de los kW de la bomba.

(2) M = Entrada monofásica.

Ventilación IP20: Natural y ventilador interno en Variador

Ventilación IP54: Caja estanca con ventilador y Filtro IP54

Envoltorios: IP20 Placa base Aluminio, IP54 Caja estanca de Acero-Epoxi

Nº de Entradas Series / Corriente máxima	3 x10A
Garantía del Variador	3 Años

Elementos incluidos versión IP-20

- Fusibles Seccionables para series FV Entrada DC
- Seccionador con protección Entrada Auxiliar AC
- Protección contra sobretensiones en líneas DC y AC
- Bornas de conexión para Entrada DC y Salida AC
- Bornas de entrada conexión sonda de control de presión
- Bornas de conexión sondas de control de nivel
- Pantalla Teclado con display de Leds
- Salida de comunicaciones RS485 Modbus RTU
- Filtros EMC incluidos
- Filtro dV/dt incluido según modelos

Configuración Series Paneles para 230 Vac

Tensión máxima admitida con motor parado Vmax (V)	400 Vdc
Tensión mínima admitida con motor parado Vmin (V)	335 Vdc

Cálculo Nº de módulos en serie según la Voc* del módulo FV:

1 - Dividir Vmax Variador / Voc* del módulo.

2 - El resultado sin decimales es el nº de módulos por serie. **

* Voc es la tensión de circuito abierto de la etiqueta de características eléctricas del módulo.

** Superar la tensión Vmax del variador puede causar graves daños en el equipo.

Formato IP20 / Talla 1



Formato IP54 / Talla1



Elementos adicionales versión IP-54

- Ventilación forzada con filtros IP54
- Sistema de alimentación autónomo para la ventilación
- Caja de acero pintada con Epoxi en caliente RAL 7035
- Salidas con Prensas para cables DC y AC

Dimensiones

	Dimensiones			Peso		
	Ancho	Alto	Prof.	F050	F200	
IP20	350	550	210 mm	6	11	kg
IP54	400	570	230 mm	18	23	kg

Dimensiones exteriores aproximadas y peso sin Filtros.

Peso filtro dV/dt hasta 200 metros 4 kg



ESP 5,5 / 230

Características especiales para Bombeo Solar

- » Seguimiento del Punto de Máxima Potencia del generador
- » Control de presión automático y programable
- » Gestión del paso de nubes sin paradas
- » Detección automática de pozo seco.
- » Puesta en marcha del sistema sencilla y rápida
- » Salida de comunicaciones RS485 independiente.
- » Arranque y parada automático
- » Entradas sondas de nivel rápida y con retardo
- » Montaje completo en formatos IP20 e IP54
- » Conexiones de Entrada DC y Salida AC con protecciones
- » Para funcionamiento Directo, auxiliar AC o Híbrido
- » Configurable para motores de Imanes Permanentes

Pantalla LED, teclas e indicadores LED en el teclado

• Teclado incluido con el Variador

Permite consultar el estado del equipo, programar parámetros, acceder a la información de alarmas y mantenimiento. El valor indicado por defecto es la Frecuencia (Hz).

Todos los equipos incluyen salida de comunicaciones RS485 independiente del teclado. El teclado es un visor de datos, se puede desmontar y el Variador sigue funcionando normalmente.

Pantalla LED
7 segmentos



Teclados Opcionales

1 - Teclado básico con puerto USB

Teclado básico con salida USB para la conexión directa con un PC externo.

2 -Teclado Multi-funcion con pantalla LCD

Acceso a todas las funciones y parámetros, proporcionando mayor



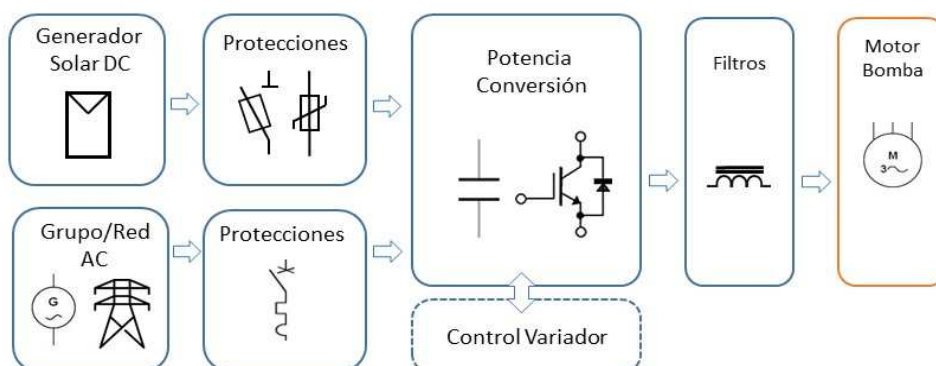
3 - Pantalla Táctil y Comunicaciones

La pantalla TS1070i proporciona la monitorización y comunicaciones Preparada para trabajar en entornos industriales.

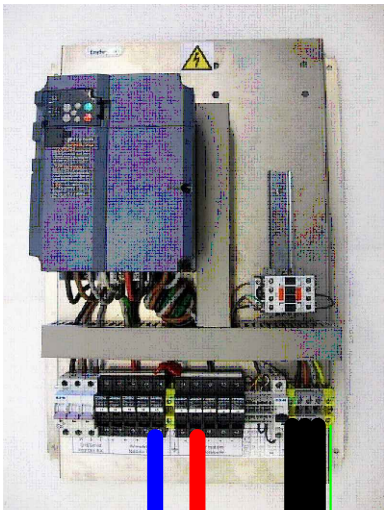
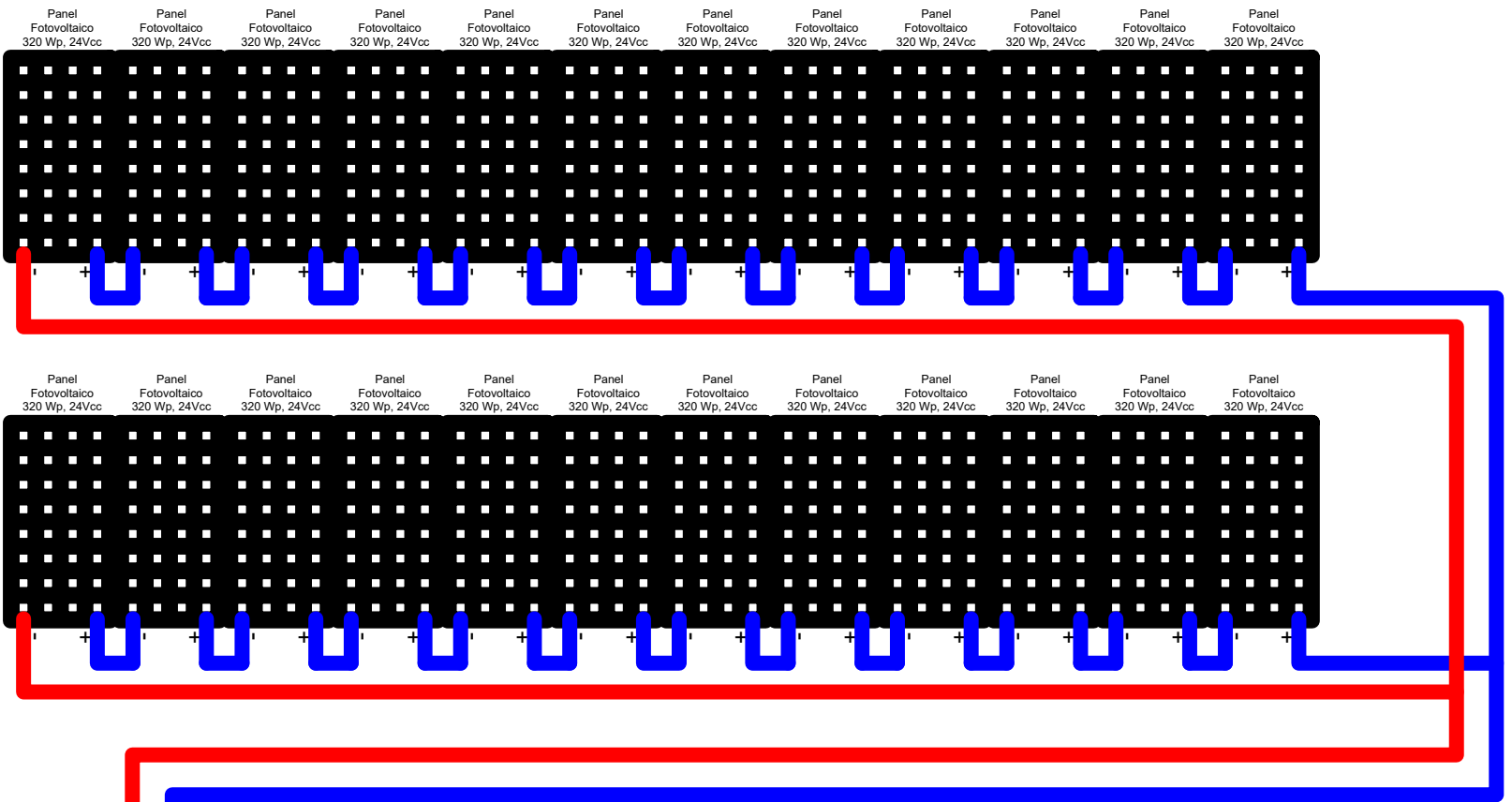
Disponibles 3 puertos Serie, 2 puertos USB y conexión Ethernet.



Diagrama de bloques del Sistema



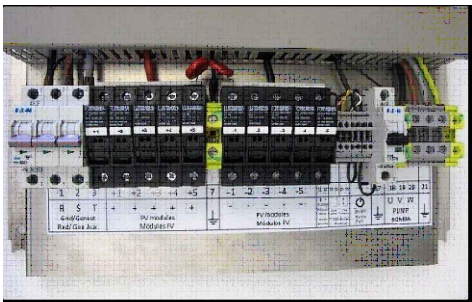
SISTEMA DE BOMBEO SOLAR AUTONOMO DIRECTO PARA EL PREDIO LOS ROJAS, DISTRITO DE YURACYACU, PROVINCIA RIOJA, DEPARTAMENTO DE SAN MARTIN



CONTROLADOR DE BOMBEO SOLAR
Marca : Aterse
Serie : Easy Sun Pump
Modelo: ESP- 5,5/230-IP54-F050 hasta 50m

Potencia nominal del Variador (1)	FRN0020E2S-2GA
Tensión de Salida Trifásica	5.5 kW
Potencia máxima motor	230 Vac
Máxima corriente de Salida	7.5 CV
Capacidad de sobrecarga durante 60/0,5 s	19.6 A
Temperatura ambiente	150/200 %
Tolerancia tensión de alimentación Auxiliar AC	50 °C
Frecuencia de alimentación Auxiliar AC	+10 -15 %
Tolerancia frecuencia de alimentación Auxiliar AC	60 Hz
Tensión Entrada Auxiliar AC (2)	± 5%
Eficiencia	230 V
Nº de Entradas Series / Corriente máxima	97-98 %
	3 x 10 A

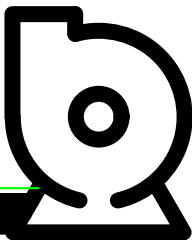
(1) Ajustar la potencia en kW del Variador por encima de los kW de la bomba.
(2) M = Entrada monofásica.



DETALLE DE BORNERAS DE CONEXIONADO DE CONTROLADOR SOLAR



Puesta a Tierra
R < 25 Ohm



ELECTROBOMBA CENTRIFUGA
TIPO SUMERGIBLE
Modelo : 4SR75Gm/30
Sistema eléctrico : Trifásico (a pedido)
Tensión / frecuencia : 220 V / 60 Hz
Potencia : 2.2 kW / 3 Hp
Caudal : 350 l/min. para 17 metros de altura de bombeo.
380 l/min. para 12 metros de altura de bombeo